N° D'ORDRE
3.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR M. GEORGES SIRE.

1re **THÈSE.** — **DE PHYSIQUE.** — ÉTUDE SUR LA FORME GLOBULAIRE DES LIQUIDES.

2e **THÈSE.** — PROPOSITIONS DE CHIMIE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le Juillet 1863 devant la Commission d'Examen.

MM. D'ESTOCQUOIS, *Président.*
GOUILLAUD, } *Examinateurs.*
REBOUL, }

BESANÇON
IMPRIMERIE DODIVERS ET Ce, GRANDE-RUE, 42.

1863

THÈSES

PRÉSENTÉES

À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR M. Gérard SIBE.

1re THÈSE. — DE PHYSIQUE. — Étude sur la diffraction des ondes

2e THÈSE. — Propositions données par la Faculté

Soutenues le Août 1887 devant la Commission d'Examen.

MM. [illegible]

BESANÇON

IMPRIMERIE DODIVERS ET Cie, RUE DE LA PRÉFECTURE, 15

1887

N° D'ORDRE
3.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR M. GEORGES **SIRE.**

1re **THÈSE. — DE PHYSIQUE.** — ETUDE SUR LA FORME GLOBULAIRE DES LIQUIDES.

2e **THÈSE.** — PROPOSITIONS DE CHIMIE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le Juillet 1863 devant la Commission d'Examen.

MM. D'ESTOCQUOIS, *Président.*
GOUILLAUD, } *Examinateurs.*
REBOUL, }

BESANÇON
IMPRIMERIE DODIVERS ET Ce, GRANDE-RUE, 42.

1863

ACADÉMIE DE BESANÇON.

FACULTÉ DES SCIENCES DE BESANÇON.

DOYEN..... M. BLAVETTE.

PROFESSEURS HONORAIRES. { MM. PERSON.
DELESSE.

PROFESSEURS.....

MM.	BLAVETTE.....	Mathématiques pures.
	D'ESTOCQUOIS.	Mathématiques appliquées.
	GOUILLAUD....	Physique.
	REBOUL.....	Chimie.
	VÉZIAN	Géologie et Minéralogie.
	GRENIER.....	Zoologie et Botanique.

SECRÉTAIRE..... M. ARNAUD.

THÈSE

DE PHYSIQUE.

ÉTUDE

SUR LA

FORME GLOBULAIRE DES LIQUIDES

Par M. GEORGES SIRE.

INTRODUCTION.

La matière étant supposée originairement composée de particules ou d'atomes indivisibles, la cause qui réunit ces particules et la manière dont elles se joignent les unes aux autres pour former des assemblages particuliers, persistants et sensibles, constituent une des plus importantes difficultés que la physique ait à résoudre.

Jacques Bernouilli *(De gravitate œtheris)* a émis l'opinion que l'adhérence des particules matérielles entre elles était due à la pression uniforme de l'atmosphère, et il cite à l'appui de cette thèse, que des plans de marbre poli adhèrent fortement l'un à l'autre dans l'air, tandis qu'ils se séparent aisément dans le vide. Mais chacun sait, que l'expérience des plans de Magdebourg n'est pas aussi rigoureuse que l'indique Bernouilli, et lors même qu'elle le serait, elle expliquerait seulement l'adhérence de surfaces d'une étendue incomparable avec celle des particules.

Pour expliquer l'adhérence des atomes, on a encore imaginé une forme crochue à ces derniers, mais ainsi que le fait remarquer Newton, c'était supposer ce qui est en question; et, quant à lui, il préfère admettre que les particules s'attirent mutuellement par une force qui dans le contact immédiat est extrêmement puissante, qui à de petites distances est encore sensible, mais qui à de plus grandes distances ne se manifeste plus. Les plus petites particules de matière peuvent être unies ensemble par les plus fortes attractions et former de plus grosses particules dont la propriété attractive est moins forte; plusieurs de ces dernières peuvent tenir ensemble et composer des particules encore plus grosses dont la vertu attractive est encore moins forte; et ainsi de suite, jusqu'à ce que la progression finisse par les plus fortes particules, desquelles dépendent les réactions chimiques, les couleurs des corps, et qui jointes ensemble constituent les corps d'une grandeur sensible. Telle est l'opinion de Newton sur la constitution physique des corps naturels, dont les différentes formes et propriétés résultent, comme on le voit, des différents degrés d'adhérence des particules constitutives.

Pour pulvériser un corps solide, il est nécessaire de vaincre l'adhérence de ses particules constitutives, que le corps soit simple ou composé. Si le corps est composé, l'analyse chimique fait reconnaître que dans les plus petits fragments de la poussière, les éléments composants y sont dans le même rapport que dans la masse primitive. L'effort mécanique nécessaire à la pulvérisation peut bien vaincre l'adhérence des particules similaires, mais il reste sans effet sur l'adhérence qui unit les particules hétérogènes qui forment les corps composés. — On est donc amené à distinguer dans les corps, l'attraction mutuelle des molécules similaires, de l'attraction des molécules hétérogènes.

Bergmann, dès 1775 *(De affinitatibus electivis)*, donnait à la première de ces forces le nom *d'attraction d'agrégation*, et, à la seconde, celui *d'attraction de composition*. Quand cette dernière s'exerce de manière qu'une substance en déplace une autre dans un composé, elle prend le nom *d'attraction élective*

simple; et si elle s'exerce entre deux composés dont les éléments puissent s'échanger réciproquement, elle prend celui *d'attraction élective double.* Bergmann considérait les forces d'affinité comme déterminées, absolues, mais dont les effets peuvent être modifiés par certaines causes. Il ne s'est pas expliqué sur la mesure des affinités, on le comprend, cette question étant encore aujourd'hui une des plus délicates de la chimie.

Dans son étude sur les affinités, Berthollet donne le nom de *cohésion* à l'attraction réciproque des molécules similaires. Il suppose cette force capable de balancer l'affinité des molécules hétérogènes, et de déterminer des combinaisons et des décompositions. Cet illustre chimiste admet l'influence préexistante de la cohésion, et la fait intervenir dans toutes les réactions chimiques. Elle existe, non-seulement au moment où elle se manifeste par ses effets, mais même longtemps avant qu'elle devienne effective. Bergmann regarde l'affinité comme une force absolue, n'admettant pas de partage; Berthollet, au contraire, croit que l'affinité agit d'une façon variable et même partielle, d'après ce fait, qu'une même base en présence de deux acides, se partage entre eux en raison de leur affinité et de leur quantité. Il a vu dans ce fait un moyen de mesurer l'affinité, et a cru devoir poser ce principe, *que l'affinité des différents acides pour une même base alcaline est en raison inverse de la quantité pondérale de chacun d'eux qui est nécessaire pour la neutralisation d'une quantité égale de la même base alcaline.* Mais ce procédé de mesure ne donne autre chose que les poids atomiques dont la théorie était peu connue du temps de Berthollet, et qui n'a que des rapports très éloignés avec les attractions chimiques.

On est donc fondé à distinguer l'affinité chimique de la cohésion; et, d'après les idées modernes, la *cohésion* est la cause qui tend à rapprocher les molécules dans les corps solides et les corps liquides et qui s'oppose à leur séparation.

On admet généralement que, dans les corps pondérables, les molécules sont dans un état qui résulte de l'équilibre des deux sortes d'actions mutuelles auxquelles sont soumises toutes les parties de la matière. L'une de ces actions est essentiellement

attractive, indépendante de la nature des corps ou de leurs molécules, proportionnelle au produit des masses et en raison inverse du carré des distances; elle s'étend indéfiniment dans l'espace et produit la gravitation et la pesanteur; l'autre est en partie attractive et en partie répulsive, elle dépend de la nature des molécules et de leur quantité de calorique. La partie attractive de cette seconde action est attribuée à la matière pondérable, et la partie répulsive au calorique; on remarque, en effet, que celle-ci change d'intensité, quoique le poids des molécules ne change pas. L'excès de l'une sur l'autre est ce qu'on appelle proprement *la force moléculaire*. La partie attractive qui dépend de la nature des molécules tend à rapprocher celles-ci, tandis que la partie répulsive tend à les éloigner; il en résulte, par exemple, que dans les corps solides soustraits à toute action étrangère, il y a équilibre entre les deux actions précédentes, de sorte que les molécules sont en repos.

Toutefois on ne sait rien sur la loi de la variation de l'intensité de ces deux actions; on sait seulement que l'intensité de la première décroît très rapidement avec la distance, et qu'elle devient sensiblement nulle à toute distance appréciable pour nos organes. Il en est de même de la force répulsive, mais elle décroît avec la distance beaucoup plus rapidement que la force attractive. L'expérience apprend qu'il en est surtout ainsi dans l'état solide, car quand on rapproche les molécules d'un corps solide en le comprimant, la force répulsive devient prépondérante, comme le prouve l'énergie avec laquelle ses molécules tendent à reprendre leur position primitive : si, au contraire, on étire ce corps, la force attractive domine, car les molécules s'efforcent alors de se rapprocher.

On doit à M. Poncelet une représentation géométrique très ingénieuse de la variation simultanée de ces deux forces; il en ressort clairement que la force répulsive décroît plus rapidement que la force attractive à mesure que la distance des molécules augmente, et que l'inverse a lieu quand la distance diminue.

Pour séparer les molécules d'un corps solide, il est nécessaire de troubler l'équilibre des deux actions antagonistes dont il vient

d'être question, il faut faire un effort capable de vaincre la force qui se développe à mesure qu'on éloigne les molécules, force qui résulte de la différence entre la variation de l'attraction mutuelle des molécules et la répulsion du calorique. C'est à cette différence qu'il convient d'appliquer le nom de *cohésion ;* mais cette force n'est pas toute développée dans les corps, puisque les molécules sont à distance et en équilibre ; elle ne se manifeste donc que quand on a commencé à écarter les molécules (1).

---

(1) « Ampère a établi depuis longtemps une distinction entre les *particules*, les *molécules* et les *atomes*. Il appelle *particule* une proportion infiniment petite d'un corps et de même nature que lui, en sorte qu'une particule d'un corps solide est solide, celle d'un liquide, liquide, et celle d'un gaz, à l'état aériforme.

» Les *particules* sont composées de molécules tenues à distance : 1° par ce qui reste à cette distance des forces attractives et répulsives propres aux atomes ; 2° par la répulsion qu'établit entre elles le mouvement vibratoire de l'éther interposé ; 3° par l'attraction en raison directe des masses et inverse du carré des distances. Il nomme *molécules* un assemblage d'atomes tenus à distance par les forces attractives et répulsives propres à chaque atome, forces qu'il admet être tellement supérieures aux précédentes, que celles-ci peuvent être considérées relativement comme presque insensibles. Ce qu'il appelle *atomes*, ce sont les points matériels d'où émanent ces forces attractives et répulsives.

» Il suit de cette définition des molécules et des atomes que la molécule est essentiellement solide, que le corps auquel elle appartient soit solide, liquide ou gazeux ; que les molécules ont nécessairement la forme d'un polyèdre, dont leurs atomes, ou du moins un certain nombre de ces atomes, occupent les sommets ; et ce sont ces formes polyédriques qui sont désignées sous le nom de formes primitives par les cristallographes.

» J'admets, dit Ampère, que dans le passage des corps de l'état liquide à l'état gazeux, et réciproquement, les molécules ne font que s'écarter ou se rapprocher en passant d'un des états d'équilibre entre les forces qui déterminent leur distance à un autre état d'équilibre entre les mêmes forces ; mais je pense que dans le passage de l'état liquide à l'état solide, deux, ou plusieurs de ces molécules, se réunissent pour former des molécules plus composées.

. . . . . .

. . . . . .

» Quant aux atomes, je pense que la seule propriété qu'on puisse leur attribuer avec certitude, c'est d'être absolument indivisibles, en sorte que quoique l'espace soit divisible à l'infini, la matière ne saurait l'être, parce que dès que l'on conçoit la division arrivée aux atomes, toute division

Cohésion propre des liquides. — La cohésion dans les liquides quoique considérablement plus faible que celle des solides, est encore très notable. Elle est prouvée : par les gouttes liquides qui adhèrent à l'extrémité d'une baguette et qui ne s'en détachent que par une secousse ; par la forme sphéroïdale que prennent de petites masses liquides sur les surfaces qui ne sont pas mouillées ; et par l'adhérence des disques mouillables déposés à la surface d'un bain liquide.

L'attraction des molécules liquides entre elles se fait également sentir quand elles sont disposées en lames minces, comme dans les bulles de savon. On sait, en effet, que les bulles d'eau de savon diminuent rapidement de volume quand le gaz qu'elles contiennent peut s'échapper par le tube qui a servi à les souffler ; ce qui montre que l'air emprisonné dans ces bulles éprouve une compression de la part de la lame liquide sphérique.

---

ultérieure tomberait nécessairement dans les espaces vides qui séparent les atomes.

» Les choses étant ainsi conçues, je distingue les vibrations moléculaires des vibrations atomiques Dans les premières, les molécules vibrent en masse en s'approchant et s'éloignant alternativement les unes des autres, et soit qu'elles vibrent de cette manière ou qu'elles soient en repos, les atomes de chaque molécule peuvent vibrer et vibrent en effet toujours en s'approchant et s'éloignant alternativement les uns des autres sans cesser d'appartenir à la même molécule. Ces dernières vibrations sont celles que j'appelle vibrations atomiques.

» C'est aux vibrations moléculaires et à leur propagation dans les milieux ambians que j'attribue tous les phénomènes du son ; c'est aux vibrations atomiques et à leur propagation dans l'éther que j'attribue tous ceux de la chaleur et de la lumière.

» Tout mouvement vibratoire ne pouvant avoir lieu qu'autour d'un état d'équilibre stable entre des forces opposées, les vibrations atomiques supposent nécessairement l'existence d'une force répulsive en équilibre avec une force attractive, ces deux forces s'exerçant à la fois entre deux atomes, de manière qu'il y ait possibilité d'un équilibre stable entre ces deux forces, ce qui exige que la force répulsive décroisse plus rapidement que la force attractive quand la distance varie.

. . . . . .

» Il est clair que du moment où l'on admet que les phénomènes de la chaleur sont produits par des vibrations, il est contradictoire d'attribuer à la chaleur la force répulsive des atomes nécessaire pour qu'ils puissent vibrer. » (*Ann. de Chimie et de Physique*, 2e série, tome 58.)

Plusieurs savants se sont occupés de déterminer la pression exercée par l'enveloppe liquide des bulles, et parmi eux on doit citer particulièrement le Dr Hough (1), M. Henry (2) et M. J. Plateau (3). En partant des principes de la théorie capillaire, ils ont reconnu que la pression exercée par une bulle liquide sur la masse de gaz qu'elle contient, est *en raison inverse du diamètre*. La méthode suivie par M. J. Plateau pour l'établissement et la vérification expérimentale de cette loi étant très élégante et peu connue, je crois utile de l'exposer ici brièvement, ainsi que les déductions que j'en ai tirées.

On sait, que l'expression générale de la pression correspondante à un point quelconque d'une surface courbe liquide est

$$\Sigma \pm \frac{H}{2}\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right),$$

Σ étant la pression due à une surface plane, et H une constante proportionnelle à la cohésion du liquide pour lui-même.

Si la surface courbe est sphérique, on a $R = R'$; et, en désignant par D le diamètre de la sphère à laquelle appartient cette surface, l'expression de la pression dans le cas de la convexité est

$$\Sigma + \frac{2H}{D};$$

et, pour une surface sphérique concave de même diamètre que la sphère précédente, on a

$$\Sigma - \frac{2H}{D}.$$

Or, en négligeant l'épaisseur de la lame sphérique, la pression exercée par cette lame sera égale à la résultante des pressions qui précèdent, ou

---

(1) *Journal de Silliman*, 1re série, vol. XVII, page 86.
(2) *Philos. Magaz.*, 1845, vol. XXVI, page 541.
(3) *Mémoires de l'Académie de Bruxelles*, tome XXXIII.

$$\Sigma + \frac{2H}{D} - \left(\Sigma - \frac{2H}{D}\right) = \frac{4H}{D};$$

c'est-à-dire que la pression exercée par une lame liquide sphérique sur l'air qu'elle emprisonne est en raison inverse du diamètre, et égale au double de l'action qui provient de la courbure de l'une ou de l'autre surface de la lame.

Pour avoir une valeur numérique de cette pression, il faut se reporter au cas de l'ascension d'un liquide dans un tube capillaire. D'après ce qu'on vient de dire, les pressions correspondantes à la partie inférieure du ménisque concave, et au niveau extérieur du liquide sont

$$\Sigma - \frac{2H}{D} \text{ et } \Sigma ;$$

D, désignant le diamètre du tube supposé assez petit pour que le ménisque puisse être considéré comme hémisphérique. Les deux forces Σ se détruisant mutuellement, il reste la force $-\frac{2H}{D}$ qui agit au point le plus bas du ménisque et en sens contraire de Σ, c'est-à-dire de bas en haut; c'est donc elle qui soutient le poids de la colonne liquide soulevée; soit h la hauteur de cette colonne.

La quantité $\frac{2H}{D}$ étant l'action due à une courbure hémisphérique, il est visible que le double de cette quantité, ou $\frac{4H}{D}$, exprimera la pression qu'exercerait sur l'air contenu une sphère laminaire ou bulle creuse du diamètre D, et formée du même liquide Cette pression est donc capable de soutenir le liquide à une hauteur double de celle à laquelle il s'élève dans le tube capillaire; en d'autres termes, cette pression ferait équilibre au poids d'une colonne de même liquide d'une hauteur égale à $2h$.

Comme la pression exercée par une bulle est en raison inverse du diamètre de celle-ci, la hauteur de la colonne liquide soulevée

qui ferait équilibre à la pression d'une bulle d'un diamètre quelconque D, sera égale à $\frac{2h}{D}$; et si l'on prend pour mesure de la pression la hauteur de la colonne d'eau pure à laquelle elle ferait équilibre, cette pression deviendra $\frac{2hd}{D}$, pour un liquide dont la densité sera d.

En résumé, si on désigne par P, la pression exercée par une sphère laminaire sur l'air qu'elle contient, on a l'expression générale

[A] $$P = \frac{2hd}{D};$$

dans laquelle d représente la densité du liquide qui constitue la lame, h la hauteur à laquelle ce liquide s'élève dans un tube capillaire de 1 millimètre de diamètre, et D le diamètre de la bulle.

On a donc les deux valeurs $\frac{4H}{D}$ et $\frac{2hd}{D}$, qui représentent toutes deux la pression exercée par une sphère laminaire du diamètre D, et par suite l'égalité

$$\frac{4H}{D} = \frac{2hd}{D},$$

de laquelle on tiré

$$hd = 2H;$$

c'est-à-dire que le produit de la hauteur capillaire par la densité, est proportionnel à la cohésion du liquide

L'équation [A] indique donc, que la pression exercée par une bulle sur le gaz emprisonné, est proportionnelle à la cohésion du liquide qui constitue la lame et en raison inverse du diamètre de la bulle.

Dans le cas de l'eau pure, on a $h = 30^{mm}$; par suite, il vient

$$P = \frac{60^{mm}}{D}.$$

Si donc on pouvait obtenir avec l'eau pure une bulle de 100

millimètres de diamètre, par exemple, l'air emprisonné éprouverait une pression de $0^{mm},6$; et, par conséquent, capable de faire équilibre à une colonne d'eau pure de même hauteur. Si la bulle n'avait que 10 millimètres de diamètre, la pression intérieure serait la même que celle d'une colonne d'eau de 6^{mm}.

Pour l'éther sulfurique, on a $d = 0{,}715$, et $h = 10^{mm},2$, à très peu près, d'après les expériences de M. Frankenheim (1), d'où

$$P = \frac{14{,}6}{D}.$$

A égalité de diamètre, la pression d'une bulle d'éther sulfurique serait donc 4 fois moindre que celle d'une bulle d'eau pure.

On peut admettre que la pression produite par les bulles de savon diffère fort peu de celle qu'exerceraient des bulles de mêmes diamètres formées d'eau pure, si la solution savonneuse est faible; mais comme dans ce cas les bulles ont peu de durée, M. J. Plateau a vérifié expérimentalement les déductions précédentes en employant son liquide glycérique (2), qui donne des bulles d'une grande persistance.

Ce savant s'est servi d'un procédé déjà employé par M. Henry, et qui consiste à souffler une bulle à l'une des extrémités d'un tube dont l'autre extrémité est terminée en U. C'est dans cette partie qu'il versait une petite quantité d'eau pure dont la différence de niveau dans les deux branches lui donnait la mesure de la pression dans l'intérieur de la bulle. Cette différence de niveau, ainsi que le diamètre des bulles, étaient soigneusement déterminés à l'aide d'un cathétomètre, après qu'on s'était assuré que l'équilibre le plus parfait était établi.

Le tableau suivant renferme les résultats de diverses mesures faites à l'aide du liquide glycérique entre + 18°,6 et 20° :

---

(1) *Bibliothèque universelle*, nouvelle série, tome III. 1836.

(2) Pour la préparation de ce liquide, voyez la 5e série des recherches de M. J. Plateau, *Mémoires de l'Académie de Bruxelles*, tome XXXIII.

DIAMÈTRES ou valeurs de *D*.	PRESSIONS ou valeurs de *P*.	PRODUITS ou valeurs de *PD*.
mm	mm	
7,55	3,00	22,65
10,37	2,17	22,50
10,55	2,13	22,47
23,35	0,98	22,88
26,44	0,83	21,94
27,58	0,83	22,89
46,60	0,48	22,37
47,47	0,48	22,78
47,85	0,43	20,57
48,10	0,55	26,45

En mettant de côté les deux derniers produits comme s'écartant beaucoup trop de la majorité, par suite de circonstances qui n'ont pas pu être bien appréciées, on trouve pour la moyenne des autres produits 22,56, ou simplement 22,6. Comme les mesures ont été prises entre des limites assez distantes, les résultats sont suffisants pour établir la constance du produit *PD*, lequel est égal à 22,6 pour le liquide glycérique.

Mais la formule [A] a permis à M. Plateau de faire une seconde vérification, car on tire de cette formule

$$2hd = PD;$$

or, ce physicien a trouvé pour le liquide glycérique $d = 1,1065$, et $h = 10^{mm},018$, on en déduit

$$2hd = 22,17;$$

nombre qui diffère fort peu de 22,56 trouvé précédemment, et qui permet de regarder l'égalité $PD = 2hd$ comme vérifiée par l'expérience.

Des considérations qui précèdent, j'ai déduit quelques expé-

riences fort simples qui montrent, d'une manière palpable et indépendante de toute mesure directe, que la pression exercée par une bulle est plus grande quand le diamètre est plus petit. Si on imagine qu'à chacune des extrémités d'un tube recourbé on souffle une bulle, et que par une disposition quelconque on vienne à établir une communication entre les masses de gaz renfermées dans ces bulles, il est visible que l'équilibre n'aura pas lieu si le diamètre des bulles n'est pas le même; il y aura un excès de pression qui se transmettra de la plus petite bulle vers la plus grande et qui fera gonfler davantage celle-ci. Comme on prévoit que le volume total du gaz doit rester sensiblement le même, l'augmentation de la grosse bulle se fera aux dépens de la plus petite, ce qui rendra la différence des pressions de plus en plus forte; par suite, le gonflement de la grosse bulle se fera d'autant plus rapidement que la différence des diamètres des bulles sera plus grande; ce que j'ai vérifié à l'aide de l'expérience suivante :

Deux tubes de laiton, *A* et *B* (fig. 1), en forme de ⊨, sont mastiqués à un robinet *R* qui sert à interrompre ou à établir à volonté la communication entre les deux tubes. Les extrémités *a*, *b* et *a'*, *b'* de chacun de ces tubes, sont ouvertes; seulement pour éviter toute action chimique de la part du métal sur le liquide glycérique, il est bon que les extrémités *b*, *b'* soient munies d'un bout de tube de verre dont le bord est adouci à la lampe d'émailleur, et le tout est établi sur un support fixe. Le robinet *R* étant fermé, on plonge, par exemple, l'extrémité *b* dans le liquide glycérique, ou, ce qui est préférable, on approche de cette extrémité une capsule contenant ce liquide, et par l'ouverture *a*, on souffle une bulle de grosseur moyenne, puis on ferme l'ouverture avec une petite boule de cire molle. On fait la même opération avec le tube *a'*, *b'*, en ayant soin de souffler une bulle moins volumineuse que la précédente; on laisse le tout en repos afin de constater que les deux bulles conservent leur volume primitif, et l'on ouvre ensuite le robinet. Si les diamètres des bulles sont peu différents l'un de l'autre, il s'écoule environ une ou deux minutes sans qu'on puisse rien

apprécier relativement au changement de volume des bulles ; mais dès qu'il devient appréciable, la variation de volume croît très vite, et l'on voit la plus petite bulle qui diminue à mesure que la plus grande se gonfle davantage. Quand la petite bulle n'a plus que deux ou trois centimètres de diamètre, on est frappé de la rapidité du phénomène qui produit bientôt l'extinction de cette bulle, et l'air qu'elle renfermait est alors passé entièrement dans la plus grande. On réalise, de cette façon, le fait curieux d'une bulle de savon gonflée par une autre bulle.

On rend cette expérience intéressante, en s'arrangeant pour souffler les bulles concentriquement l'une à l'autre ; dans ce but, j'ai imaginé la disposition suivante : Un tube de verre *AB* (fig. 2), de 8 à 10 millimètres de diamètre porte une tubulure latérale *C*, à laquelle est mastiqué un robinet à trois voies *D*. Dans l'intérieur de ce tube, existe un tube plus petit *EF*, mobile à frottement doux dans un bouchon *A*, qui ferme la partie supérieure du large tube, et dans un petit anneau *H* ; de sorte qu'en élevant ou abaissant le tube *EF* il reste toujours dans l'axe de *AB*, en laissant un espace vide annulaire. La partie supérieure de *EF* est reliée à la tubulure *I* par un petit tube en caoutchouc. En introduisant un léger courant d'air par la tubulure *K*, il est évident que par une manœuvre convenable du robinet on pourra souffler des bulles à l'aide des deux orifices *E* et *B*, lorsqu'on les aura alternativement plongés dans le liquide glycérique.

Pour opérer convenablement, on commence par abaisser l'extrémité *E* au-dessous de l'orifice *B*, et on la plonge dans du liquide glycérique ; on remonte ensuite cette extrémité au-dessus de l'orifice *B*, que l'on plonge à son tour dans le même liquide. Le robinet étant tourné pour établir la communication *KCB*, on souffle une bulle d'un diamètre moyen avec le gros tube, et on ferme la communication. On descend ensuite le tube *EF*, de façon que l'extrémité *E*, arrive en *E'*, et si on tourne le robinet pour faire passer le courant d'air par *KIFE'*, il est clair qu'on soufflera une bulle à l'intérieur de la précédente. En déplaçant l'extrémité *E'*, on peut disposer les

deux bulles concentriquement l'une à l'autre. Ainsi disposé, cet appareil fournit les deux résultats suivants :

1° Si l'on tourne le robinet (fig. 3) de manière à mettre en communication les deux tubulures *I* et *C*, on établit, par le fait, une communication entre les masses gazeuses des deux bulles, et comme la pression dans la bulle intérieure est plus grande, l'air qu'elle contient s'échappe par le canal *E'FICB*, et vient combler le vide que cette bulle tend à faire en se contractant; de sorte que le diamètre de la bulle extérieure n'éprouve pas de changement appréciable.

2° Si l'on établit une communication entre les tubulures *I* et *K* (fig. 4), alors c'est l'air de la bulle intérieure qui est seul en communication avec l'atmosphère et qui s'écoule par le canal *E'FIK*, et, les deux bulles diminuent simultanément de diamètre, attendu que le volume de l'air dans l'intervalle concentrique reste sensiblement constant; c'est le volume de la bulle primitivement soufflée avec le gros tube, bulle qui est reproduite lorsque la bulle intérieure est anéantie.

Parmi les résultats intéressants qu'on peut déduire de la formule [A], j'indiquerai les suivants :

1° On sait que le diamètre moyen des sphérules des nuages a été trouvé de $0^{mm},02$; si on admet que ces sphérules sont creuses et pleines d'air, la formule en question indique que cet air doit éprouver, de la part de l'enveloppe aqueuse, une pression d'environ $\frac{2}{7}$ d'atmosphère.

2° Simon, de Metz (*Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série tome 32, page 14) dit, qu'indépendamment de la pression atmosphérique et de la colonne liquide qui les compriment, les bulles gazeuses au sein des liquides doivent éprouver des pressions dues à la force adhésive des molécules de ces derniers. Suivant ce physicien, la pression serait d'autant plus grande que les bulles sont plus petites, et pourrait aller à plusieurs atmosphères pour des particules gazeuses très divisées; de sorte que, en supposant un diamètre de $0^{mm},0001$ à des bulles d'acide carbonique mêlées à l'eau, la compression serait assez

forte pour faire passer ce corps de l'état gazeux à l'état liquide. Or, le gaz acide carbonique se liquifiant à 0° sous une pression de 36 atmosphères, si l'on calcule, d'après la formule [A], le diamètre que devraient avoir les bulles de ce gaz dans l'eau pour que la pression due aux molécules environnantes fut de 36 atmosphères, on trouve $0^{mm},00016$, à très peu près. Si le diamètre des bulles était seulement de $0^{mm},0001$, la pression serait de 58 atmosphères; l'acide carbonique serait donc liquéfié comme l'a avancé Simon, de Metz

Sans m'arrêter davantage sur les effets dus à la cohésion propre des corps solides et des corps liquides, je passe aux phénomènes qui résultent de l'action mutuelle des molécules des corps dans ces deux états. L'expérience montre qu'une attraction s'exerce entre les molécules des solides et celles des liquides, car la surface libre de ces derniers près des parois solides qui les limitent ou les renferment offre une courbure différente, suivant que les parois sont mouillées ou non. Dans le premier cas, le liquide adhère à la paroi et s'élève dans son voisinage au-dessus du niveau général; dans le second cas, on observe, au contraire, une dépression.

Il existe des conditions où il n'y a, ni ascension, ni dépression dans le voisinage de la paroi. Ainsi, lorsqu'on plonge dans l'eau une lame d'acier poli, le niveau reste horizontal jusqu'au contact de la lame. La même chose s'observe entre le verre et le mercure lorsque ce dernier contient une certaine dose d'oxyde. C'est le professeur Casbois, de Metz, qui en 1780 a signalé le premier cette propriété du mercure. Il l'attribuait à l'extrême sécheresse du métal bouilli, et il admettait que si ce métal présente le plus souvent des ménisques convexes au contact du verre, c'est que ce dernier est généralement revêtu d'une couche d'humidité. Cette manière de voir a été renversée par Dulong, qui a constaté : que la forme du ménisque n'était pas due à l'état hygrométrique du verre, mais bien à la plus ou moins grande quantité d'oxyde contenu dans le mercure; qu'avec du mercure pur et parfaitement sec, le ménisque est toujours convexe; qu'une légère quantité d'oxyde en dissolution

dans le mercure, diminue sensiblement la convexité ; que cette convexité devient nulle pour une dose d'oxyde plus forte ; qu'enfin, la dépression se change en une ascension si la proportion d'oxyde est encore plus grande ; le mercure mouille alors le verre, ce qui arrive lorsque ce métal a bouilli longtemps au contact de l'air. Il résulte de cette explication, que dans le voisinage d'une même paroi, la surface d'un liquide, dont la cohésion propre est modifiée, peut présenter des courbures différentes.

Mais sachant que le même corps est mouillé par certains liquides, et pas par d'autres, il était intéressant de rechercher les conditions qui favorisaient l'une ou l'autre de ces circonstances.

Clairaut (*Théorie de la figure de la terre*, 1808, page 123), est le premier qui se soit occupé de cette question, et il est arrivé à cette conséquence remarquable, *qu'un corps solide est mouillé, toutes les fois que l'attraction du liquide pour lui-même est plus petite que le double de l'attraction du solide pour le liquide.*

Pour expliquer ce qui détermine la concavité ou la convexité d'un liquide au contact d'une paroi solide, Laplace (*Supplément au dixième livre de la Mécanique Céleste*, page 438 et suiv.), compare l'attraction réciproque du solide et du liquide à l'attraction du liquide sur lui-même. Il suppose, en outre, que ces attractions suivent la même loi des distances, tant pour les molécules du solide que pour celles du liquide, et qu'elles ne diffèrent que par leur intensité à la même distance. Cela posé, si ω et ω' représentent ces intensités, il trouve que la courbure sera nulle, si $\omega' = 2\,\omega$, ou si l'intensité de la force attractive de la matière de la paroi est la moitié de celle du liquide. Donc, quand la quantité $2\,\omega - \omega'$ est nulle, la surface du liquide reste horizontale dans toute son étendue. Si elle est positive, ou $\omega > \frac{\omega'}{2}$, la surface est concave ; enfin, si elle est négative, ou $\omega < \frac{\omega'}{2}$, la surface devient convexe.

Mais Poisson fait remarquer que les démonstrations de Clairaut et de Laplace ne sont pas rigoureuses, parce que ces géomètres ont omis dans leurs calculs une circonstance physique dont la considération est essentielle, c'est-à-dire la variation rapide de densité que le liquide éprouve près de sa surface libre, et contre la paroi solide; il en résulte, que dans la quantité $2\omega - \omega'$, les deux termes sont en erreur, parce que Laplace a négligé la compression du liquide près de la paroi, dans le premier, et qu'il ne tient pas compte de la variation de la densité près de la surface libre, dans le second. (1)

---

(1) Si Laplace n'a pas tenu compte dans ses calculs de ces variations de densité, ce n'est pas qu'il les ait méconnues, car en indiquant les causes qui peuvent occasionner des anomalies dans les phénomènes capillaires, il fait mention de l'action des liquides sur eux-mêmes. Il cite notamment l'action de l'eau sur elle même, qui lui semble beaucoup moindre que son action sur la lumière, mais qui est extrêmement grande relativement à l'action capillaire.

« En effet, dit-il, si dans une masse indéfinie d'eau stagnante on imagine un canal intérieur infiniment étroit, dont les parois soient infiniment minces et dont les extrémités aboutissent à la surface de l'eau; les couches liquides du canal, placées à une distance sensible au-dessous de cette surface, éprouveront, par l'action de l'eau vers l'une des extrémités, une pression Σ, qui sera balancée par une pression égale et contraire, produite par l'action de l'eau vers l'autre extrémité. Chaque couche du liquide intérieur est donc comprimée par ces deux forces opposées. A la surface du liquide, cette compression est évidemment nulle : elle croît avec une extrême rapidité depuis cette surface, et devient constante à la plus petite distance sensible au-dessous.

Ces grandes variations de compression peuvent faire varier sensiblement la densité des couches d'un liquide très près de sa surface; et, dans les mélanges de deux liquides, tels que l'alcool et l'eau, elles peuvent faire varier non-seulement la densité des couches liquides extrêmement voisines de la surface, mais encore la proportion des deux liquides que renferment ces couches et les lames liquides adhérentes aux parois des tubes. Ces variations n'ont aucune influence sur la réfraction qui, lorsque le rayon lumineux est parvenu à une distance sensible au-dessous de la surface, est la même que si la nature et la densité du liquide n'éprouvaient aucun changement; mais elles peuvent avoir sur les phénomènes capillaires une influence très sensible que semblent indiquer plusieurs expériences de M. Gay-Lussac sur l élévation de divers mélanges d'alcool et d'eau dans les tubes capillaires.

Une lame d'eau isolée, et d'une épaisseur plus petite que le rayon de la sphère d'activité sensible de ses molécules, éprouvant donc une com-

Poisson fait observer que la variation rapide de densité dans la couche superficielle doit être de grandeur finie, mais absolument insensible, d'après l'hypothèse qu'on fait du peu d'étendue de la sphère d'activité moléculaire. Cela est confirmé par une expérience de M. Gay-Lussac. Ayant réduit un corps en poussière très fine, il a trouvé sa pesanteur spécifique sensiblement la même avant et après cette opération ; d'où il faut conclure que l'épaisseur de la couche dilatée qui termine chacune des parcelles de poussière, est insensible eu égard à leurs dimensions (*Nouvelle théorie de l'action capillaire*, note, page 6.)

Les résultats auxquels Laplace est arrivé sur les causes qui déterminent la courbure des liquides près des parois solides, sont extrêmement simples, et, en tenant compte des restrictions de Poisson, je les crois susceptibles d'expliquer beaucoup de phénomènes, notamment ceux qui forment l'objet de cette étude, en faisant la réserve toutefois, que s'ils ne sont pas l'expression rigoureuse des faits, ils sont une évaluation très approximative du rapport des intensités des attractions qui sont en jeu. Il ne faut pas perdre de vue que, lorsque la cohésion s'exerce entre des particules identiques situées à des distances insensibles, son intensité est considérable, mais pour peu que la distance augmente, cette intensité diminue rapidement, et suivant une loi qui n'est pas connue. Or, les effets de la cohésion devenant insensibles à des distances sensibles, ils peuvent être modifiés ou annulés par des causes complétement inappréciables à nos moyens d'observation. Toutefois on peut se convaincre, que de toutes les causes antagonistes de la cohésion, la plus efficace et la plus connue, c'est l'élévation de la température. C'est elle qui en faisant varier les distances

---

pression beaucoup moindre qu'une pareille lame située au milieu d'une masse considérable de ce liquide, il est naturel d'en conclure que sa densité est très-inférieure à la densité de cette masse. Est-il invraisemblable de supposer que c'est le cas de l'enveloppe acqueuse des vapeurs vésiculaires, qui par là seraient plus légères, et dans un état moyen entre l'état liquide et celui de vapeurs? (*Mécanique Céleste*, 1845. Supplément au livre dixième, page 548.)

intermoléculaires, modifie les effets de la cohésion ou les annulent. Dans ce qui suit, on verra la chaleur donner lieu à des phénomènes diversement interprétés, mais que je suis conduit à regarder comme n'étant que des modifications apportées par le calorique dans les attractions moléculaires; attendu, que si la chaleur modifie la cohésion, une même variation de de température ne la modifie pas au même degré dans les différents corps; et, par suite, que tout changement dans la température des corps modifie nécessairement le rapport des cohésions.

Cette étude est divisée en trois parties. Dans la première et la deuxième j'examine les circonstances qui peuvent déterminer la forme globulaire des liquides sur les surfaces chaudes, solides ou liquides; et dans la troisième j'étudie, comme cas particulier, l'influence de cette forme globulaire sur la température et l'évaporation de l'eau.

PREMIÈRE PARTIE.

FORME GLOBULAIRE DES LIQUIDES SUR LES SURFACES CHAUDES.

Chacun sait que quelques liquides ne mouillent pas certains solides à la température ordinaire, mais ces liquides sont peu nombreux, c'est-à-dire que si l'eau et les dissolutions salines ne mouillent pas le noir de fumée, par exemple, il n'en est pas de même des alcools, des éthers, des acides et de beaucoup d'autres fluides. Or, ces mêmes liquides qui mouillent la plupart des corps solides aux températures ordinaires, ne les mouillent plus lorsque ces derniers sont portés à une température suffisamment haute, mais beaucoup moindre cependant qu'on ne le croit généralement. L'expérience apprend, en effet, que si on verse une certaine quantité d'eau dans une capsule métallique chauffée à 200 degrés, la capsule n'est pas mouillée ; l'eau prend une forme arrondie sur son contour, comme quand on la dépose à froid sur une couche de noir de fumée. Presque tous les liquides, et quelques solides, comme l'iode, le camphre, etc., prennent une disposition analogue, pourvu que la température de la capsule soit suffisamment élevée.

Cette disposition particulière des liquides sur les surfaces chaudes, que je désigne sous le nom de *forme globulaire*, semble avoir été étudiée primitivement par Eller, puis par Leidenfrost, Klaproth, Rumfort..., et plus spécialement de nos jours, par MM. Baudrimont, Laurent, Person, Boutigny, Belli, Kramer, Zantedeschi....

Lorsqu'un liquide repose sur une surface chaude et ne la mouille pas, il n'y a pas de contact apparent entre le liquide et

la surface. MM. Person et Boutigny ont presque simultanément signalé ce fait, qu'on distinguait nettement la flamme d'une bougie, à travers l'intervalle qui sépare le sphéroïde liquide, de la capsule. MM. Warkmann, Poggendorff... ont constaté qu'un courant électrique ne peut passer entre le globule et le vase métallique. Toutefois ce résultat semblerait dépendre de la quantité de liquide employée, car M. Buff *(Ann. de Chimie et de Physique,* 3e série, tome XLVIII, page 195) a reconnu que le contact avait lieu dans certains cas. Le courant électrique ne passe pas, quand la goutte est petite, mais lorsqu'on met environ 300 grammes d'eau dans la capsule, le contact est accusé par une déviation plus ou moins grande de l'aiguille d'un galvanomètre. 150 grammes d'eau suffisent lorsqu'on rend l'eau légèrement acide à l'aide d'une goutte d'acide sulfurique.

Jusqu'à ce jour, trois hypothèses ont été émises pour rendre compte de la forme globulaire des liquides sur les surfaces très échauffées.

1° *L'hypothèse de la tension de la vapeur.* — M. Person s'est particulièrement attaché à justifier par l'expérience, que le liquide était séparé de la paroi solide échauffée, et maintenu à une certaine distance de cette paroi, par une couche de vapeur élastique. En introduisant à travers le globule, et jusqu'au fond du vase, la pointe effilée d'un petit manomètre formé d'un tube de verre recourbé en U, il a constamment reconnu que la tension de la vapeur était égale au poids d'une colonne de même liquide, ayant pour hauteur l'épaisseur du globule. A cette manière de voir se rattachent les travaux de M. Baudrimont.

2° *L'hypothèse d'une force répulsive.* — M. Boutigny, adoptant une idée émise par Mussenbroeck, admet l'existence d'une force répulsive particulière émanant de la surface échauffée, et s'exerçant entre cette surface et le liquide. Pour mettre en évidence l'action de cette force répulsive, M. Boutigny prend une capsule métallique percée de trous, ou mieux, une espèce de petit panier formé d'un fil de platine roulé en spirale creuse, et qu'il chauffe fortement. Dans ce tamis d'une nouvelle espèce, les liquides ne passent pas à travers les spires, qui sont cepen-

dant assez espacées pour laisser passer les mêmes liquides à froid.

M. Zantedeschi semble adopter cette seconde hypothèse.

3° *L'hypothèse des forces moléculaires modifiées.* — Enfin, quelques physiciens regardent ces phénomènes comme étant simplement le résultat de changements plus ou moins grands dans les forces moléculaires. La paroi suffisamment échauffée n'étant plus mouillée par le liquide, le contact entre ces corps serait alors très imparfait, ce qui expliquerait la lenteur avec laquelle la chaleur se communique de l'un à l'autre. Cette hypothèse n'admet pas une séparation complète, c'est du moins l'opinion de Rumfort, de Klaproth, de M. Laurent, à laquelle semble se rallier M. Buff.

Les considérations suivantes, et l'ensemble des faits qui constituent cette étude, me déterminent à adopter cette dernière hypothèse.

L'expérience de la capsule trouée ou de la spirale, ne me paraît pas une preuve irréfutable de l'existence d'une force répulsive. En effet, ayant construit une capsule avec une toile métallique de laiton, dont les parties pleines comparées aux vides étaient dans le rapport de 8 à 100, j'ai pu impunément verser de l'eau froide dans cette capsule, après avoir enduit ses fils d'une couche de noir de fumée. Comme l'eau ne s'échappe pas à travers les mailles de la toile, et qu'elle y prend la forme globulaire, même dans le voisinage de zéro, on ne saurait invoquer, ni la tension de la vapeur, ni l'existence d'une force répulsive; mais rien ne s'oppose à admettre que les actions moléculaires réciproques sont telles, que l'attraction du liquide pour lui-même est plus grande que le double de l'attraction du noir de fumée pour l'eau. Ce rapport existerait pour beaucoup d'autres liquides, puisqu'un grand nombre de dissolutions salines, ou alcalines, n'ont également pas passé à travers les mailles de la toile métallique précitée.

Que l'on opère dans une capsule pleine, ou formée d'une toile métallique enfumée, les liquides dont il vient d'être question s'y rassemblent en sphéroïdes, et ne paraissent pas mouiller le

noir de fumée; mais en faisant passer un courant électrique à travers le système, j'ai pu me convaincre qu'un léger contact avait lieu en quelques points, mais qui doivent être peu nombreux et forts petits. La surface inférieure des sphéroïdes qui reposent sur une toile métallique enfumée prend une disposition particulière due à ce que certaines molécules reposent par des points très petits sur les fils de la toile, tandis que les molécules qui correspondent aux vides, adhèrent à celles qui s'appuient sur les parties pleines, en vertu de la cohésion du liquide pour lui-même; il se forme des espèces d'arc-boutants qui soutiennent les molécules supérieures. Lorsque la quantité de liquide est grande, les parties correspondantes aux vides sont très convexes, ainsi que je m'en suis assuré, par un examen direct sur une capsule en toile métallique enfumée dans laquelle j'avais versé 150 grammes d'eau, et par l'empreinte qu'en a conservé une couche d'alliage fusible de d'Arcet. La convexité du liquide dans les mailles augmente avec la charge, et quand la hauteur du liquide est telle, que la pression exercée par les ménisques convexes dans ces vides ne peut plus faire équilibre à la pression de haut en bas, alors il y a écoulement, mais par quelques mailles seulement.

Si on laisse tomber, ou si on dépose doucement une goutte d'un liquide bouillant sur une surface froide, celle-ci est généralement mouillée, bien qu'on puisse admettre que cette goutte soit entourée d'une couche saturée de sa propre vapeur; cela tient à ce que cette vapeur est condensée de suite, puisque la surface solide est supposée froide. Si, au contraire, cette dernière est préalablement chauffée, la condensation de la vapeur qui entoure la goutte n'a pas lieu, ou peut n'avoir lieu qu'en partie, alors le mouillage ne se fait pas, par suite de la vapeur interposée, et parce que la chaleur, tout en changeant les distances moléculaires de la surface solide, change aussi le rapport des attractions réciproques. Il est évident que la couche de vapeur interposée, quelque mince qu'elle soit, concourt aussi à la modification du rapport des cohésions en agrandissant la distance. L'expérience avec la spirale peut alors s'expliquer, en

admettant que l'élévation de la température diminue graduellement l'attraction des spires pour le liquide, et qu'il existe une température à laquelle le rapport des cohésions qui produit le non contact est atteint; à ce moment le liquide ne peut plus mouiller les spires, et la suspension de la masse liquide dans les intervalles vides n'est plus qu'un effet de capillarité, comme avec la toile enfumée, disposition qui laisse une libre circulation aux vapeurs.

Pour qu'une surface ne soit pas mouillée par un liquide, il faut qu'elle soit préalablement portée à une certaine température, variable avec la nature et la quantité du liquide, mais il faut, en outre, que la couche extérieure de ce liquide soit modifiée par une atmosphère de vapeur et d'air. Si le liquide est froid et sa quantité petite, il emprunte presque instantanément au corps chaud, le chaleur nécessaire à la production d'une couche de vapeur suffisamment épaisse à sa surface, et il prend facilement le forme globulaire. Si la quantité de liquide est plus forte, on entend, au moment du dépôt, un bruissement très distinct, qui dénote, que des contacts partiels ont lieu entre le liquide et la surface chaude, mais le liquide n'en prend pas moins la forme globulaire après un temps très court; tandis que si, sans précaution, on verse une trop grande quantité de liquide à la fois, il y a contact complet, la chaleur de la surface chaude passe rapidement dans l'intérieur du liquide, et il se produit une ébullition tumultueuse.

On déduit de ce qui précède, et l'expérience le confirme, que, quelle que soit la quantité de chaleur que l'on donne à une capsule contenant à froid un liquide qui la mouille, jamais on ne peut obtenir la séparation de ces deux corps. Tout l'excès de chaleur est absorbé par le liquide qui ne tarde pas à bouillir, et, quelquefois ce n'est qu'à la fin d'une violente ébullition que des gouttelettes lancées verticalement retombent sur la capsule, et ne la mouillent pas, parce que pendant leur projection ces gouttelettes se sont entourées d'une atmosphère de vapeur, en même temps que la vaporisation presque totale du liquide a permis à la capsule d'atteindre une température plus élevée.

Il ne suffit donc pas que les surfaces solides soient portées à de hautes températures pour qu'elles ne soient pas mouillées, il faut, en outre, que la couche extérieure des liquides soit modifiée par un mélange d'air et de vapeur ; circonstance qui se vérifie à l'égard des liquides reposant les uns sur les autres.

Cette manière de voir est conforme aux récentes expériences de M. Ch. Drion, sur l'influence de la chaleur dans les phénomènes capillaires. M. Wolf en s'occupant du même sujet (*Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, tome 49), était arrivé à ce résultat, qu'une élévation de température suffisante intervertissait la courbure du ménisque ; en d'autres termes, si ce dernier est concave à la température ordinaire, il pouvait devenir successivement plan, puis convexe, à mesure qu'on approche du point de vaporisation totale. Or, en répétant ces expériences, M. Ch. Drion (*Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, tome 56, page 221) a reconnu, que la forme convexe signalée n'était qu'une illusion d'optique due à une lunette d'un trop fort grossissement employée par M. Wolf. En opérant sur l'éther sulfurique, l'éther chlorhydrique et l'acide sulfureux, M. Drion a constamment vu le ménisque rigoureusement plan au moment où le liquide se convertit entièrement en vapeur, mais que jusqu'à ce moment la courbure demeure concave tout en diminuant à mesure que la température s'élève. Il a également reconnu, que si quelquefois l'ascension semblait se changer en dépression, cela était dû à l'inégalité de la température, et à l'énorme dilatation des liquides volatils aux températures voisines de leur vaporisation totale. (1)

D'après M. Boutigny, l'éther sulfurique peut prendre la forme globulaire sur une capsule chauffée à 61° seulement. Il est alors bien étonnant (si toutefois il existe une force répulsive émanant des surfaces chaudes) que cette force ne se manifeste pas à l'égard du même liquide, de la part d'une paroi portée à une température trois fois plus élevée. Cette

(1) Cette vaporisation totale a lieu à 190° pour l'éther sulfurique, à 184° pour l'éther chlorhydrique, et à 157° pour l'acide sulfureux.

force répulsive ne devrait-elle pas chasser le liquide à une certaine distance de la paroi, et déterminer la forme globulaire de celui-ci dont la surface libre serait alors fortement convexe? Or, dans les expériences qui viennent d'être citées, cette surface n'est que plane, même à la dernière limite de température.

On serait tenté de dire que la force répulsive ne pouvait produire son effet ordinaire à cause de la forte pression qui existait au-dessus du liquide, dans les appareils employés par M. Wolf, et par M. Drion; mais l'argument serait sans valeur, puisque quelques physiciens ont recours à cette force répulsive pour expliquer la fameuse expérience de Perkins qui vit l'eau, dans des cylindres de bronze portés au rouge refuser de passer à travers une fente faite accidentellement à la partie inférieure, malgré le poids du liquide et une pression intérieure d'environ 20 atmosphères. La vraie raison de la forme plane du liquide dans les expériences de MM. Wolf et Drion, c'est que la cause qui modifie le rapport des cohésions, cette couche adhérente à la surface des liquides dont il a été précédemment question, ne peut pas se former dans les circonstances où l'on s'est placé, c'est-à-dire en chauffant graduellement à partir de la température où le mouillage est complet. Il en est tout autrement si le tube est préalablement chauffé à une température suffisante, la surface libre du liquide est fortement convexe. Comme le liquide ne touche plus les parois, la pression s'exerce sur toutes ses parties, et ne tend nullement, par conséquent, à le faire passer par les petites ouvertures qu'on peut pratiquer dans l'enceinte, ce qui ôte à l'expérience de Perkins le merveilleux qu'on lui trouve d'ordinaire.

L'intervention de la vapeur est évidente dans ces sortes d'expériences; mais j'espère qu'il ressortira plus loin, que la tension de la vapeur, quand elle agit, est moins la cause du non contact entre les liquides et les surfaces chaudes, qu'une circonstance qui agrandit l'intervalle préalablement établi.

DEUXIÈME PARTIE.

CAS DES LIQUIDES SUPERPOSÉS.

Quelques liquides qui aux températures ordinaires se mouillent et se mélangent, peuvent dans certaines circonstances ne pas se mouiller ; quoique très rapprochés, ils restent complètement séparés, ainsi que Bellani l'a remarqué dès 1808. M. Pelouze a constaté qu'une goutte d'eau surnageait à la surface de l'essence de térébenthine chauffée à 150 degrés environ, malgré la différence de densité. D'après M. Boutigny, l'eau, l'alcool et l'éther se maintiennent sur de l'acide sulfurique presque bouillant ; et avec quelques précautions on peut, suivant M. Choron, faire prendre la forme globulaire, à de l'éther projeté sur de l'eau, du mercure, de l'huile, de l'acide nitrique fumant, pris à la température de 54° au moins. On peut même empiler plusieurs liquides les uns sur les autres.

La manière la plus simple de montrer cette superposition des liquides sous forme globulaire, consiste à chauffer une capsule plate, et à y déposer une certaine quantité d'eau pure qui ne la mouille pas. La masse d'eau doit former un sphéroïde aplati dont la surface ait assez d'étendue pour permettre d'y plonger aisément un anneau mince en platine *pp'* (fig. 5). Cet anneau doit reposer par quelques points seulement sur la capsule, et son bord supérieur dépasser faiblement la surface du sphéroïde. La capillarité forme à l'intérieur de l'anneau une sorte de capsule d'eau, dans laquelle on peut déposer divers liquides, de l'éther sulfurique, par exemple, qui s'y rassemble immédiatement en un globule arrondi. On peut, si l'on veut, déposer d'abord de l'alcool sur la capsule, puis de l'éther sulfurique sur

l'alcool. En enflammant ces deux liquides la séparation ne cesse pas d'exister, et on obtient deux flammes qui diffèrent, comme l'on sait, par leur pouvoir éclairant.

Il n'est pas rare de voir flotter des gouttelettes sur la surface d'un liquide de même nature, à diverses températures. On observe ce phénomène dans une foule de circonstances qu'il est inutile de rapporter; mais surtout sur les liquides volatils.

Les faits que je viens de citer indiquent qu'une cause analogue à celle qui empêche le contact entre les liquides et les surface chaudes, existe aussi à l'égard des liquides entre eux, du moins pendant un certain temps. Ils semblent indiquer aussi qu'une température de 50 à 60 degrés est au moins nécessaire; mais j'ai constaté que le non contact entre quelques liquides peut avoir lieu à des températures plus basses, soit qu'il s'agisse de liquides différents, ou de liquides de même nature.

Pour vérifier ce qu'on vient de lire, le procédé le plus simple est de prendre un tube de verre, de 1 à 2 centimètres de diamètre, de 6 à 8 centimètres de longueur et fermé par une de ses extrémités. On le remplit à moitié d'alcool ordinaire, par exemple, et l'on dépose, à l'aide d'une pipette, une goutte du même liquide sur la surface du ménisque concave. En opérant convenablement, la goutte se maintient isolée de la surface sous-jacente, malgré le mouvement oscillatoire qu'elle peut prendre dans les premiers instants. Cette goutte reste ainsi surnageante plus ou moins de temps, et quelques instants avant qu'elle ne se confonde avec le bain, on remarque à sa surface des mouvements irréguliers, analogues à ceux qui sillonnent les bulles de savon un peu avant qu'elles ne crèvent. Il arrive souvent que la goutte, en s'évanouissant, donne naissance à une goutte plus petite, d'une sphéricité parfaite, et en général d'une plus grande persistance. En opérant comme il vient d'être dit, la surface du bain n'a pas besoin d'être en repos, car le tube peut être tenu à la main, on peut le transporter sans abréger beaucoup la suspension des gouttes. L'alcool absolu, l'acool méthylique, l'acide acétique cristallisable, et les éthers sulfurique, nitrique, chlorhydrique donnent des résultats identiques.

Lorsqu'une goutte liquide repose ainsi sur une surface également liquide, cette dernière est plus ou moins déprimée suivant le volume et la densité de la goutte surnageante ; et, pour peu qu'il y ait une variation de température dans le liquide sous-jacent, les corpuscules qui peuvent s'y trouver en suspension indiquent, par leurs mouvements, qu'il se produit des courants ayant la direction des flèches de la fig. 6.

Si l'on chauffe modérément le tube au bain-marie, les effets ci-dessus ont plus de durée, il est aussi très facile de produire la suspension des gouttes sur des liquides de nature différente. Ainsi, l'éther sulfurique reste flottant sur de l'alcool ordinaire chauffé à 40 degrés, bien que ces deux liquides se mélangent en toutes proportions. Une goutte d'éther reste flottante sur l'éther à 34° seulement ; la durée de la suspension varie de 8 à 15 minutes, malgré un mouvement continuel de la goutte qui se déplace dans tous les sens, et sans qu'il en résulte une variation de volume appréciable. Si on dépose une goutte d'éther sulfurique sur de l'alcool à la température de 60°, le mouvement de la goutte est tellement rapide et brusque, que dans la plupart des cas elle se brise contre les parois du tube.

Cette dernière expérience est plus intéressante quand on opère dans un vase plus large, par exemple dans un petit ballon de verre, de 4 à 5 centimètres de diamètre, rempli à moitié d'alcool. La goutte d'éther y prend une vitesse très grande, ses mouvements se réfléchissent contre les parois du ballon, c'est exactement le cas d'une bille lancée sur un billard circulaire. Rarement la goutte disparaît en se confondant avec le bain, presque toujours elle se brise contre le ballon, tant sa translation est rapide. Ces mouvements sont évidemment dus à une réaction exercée dans une même direction par les vapeurs qui se forment à la surface des deux liquides.

Sur de l'essence de térébenthine chauffée à 60°, une goutte d'eau distillée reste surnageante, et en prenant quelques précautions cette goutte peut être tellement volumineuse qu'elle plonge aux trois quarts dans l'essence.

Les cas de superposition que je viens de citer, et auxquels je

pourrais en ajouter beaucoup d'autres, me conduisent à admettre que la séparation des liquides semblables, ou de nature différente, est due au rapport des cohésions, modifié par la couche de vapeur adhérente à la surface de chacun d'eux, si les liquides sont tous deux volatils, ou à la surface du liquide le plus volatil, si l'autre ne fournit pas de vapeur appréciable aux températures ordinaires.

On conçoit facilement, que quand on opère dans un espace presque fermé, une couche de vapeur adhérente à la surface du liquide ne tarde pas à se former, et que la goutte qu'on y dépose ne se confond avec cette surface qu'autant qu'une solution de continuité se produit dans la couche de vapeur. Il semble tout d'abord que cette solution de continuité pourrait être le résultat d'une condensation de la vapeur à la surface de la goutte, soit que celle-ci soit plus froide, soit qu'elle ait pour la vapeur du bain une certaine affinité, ou réciproquement; mais on verra bientôt que la couche de vapeur résiste à l'action des liquides qui ont cependant pour elle une forte action dissolvante, ou tout au moins, que si cette dissolution a lieu, la couche de vapeur se régénère avec une grande rapidité. Par couche de vapeur adhérente, j'entends ici, une lame excessivement mince d'air saturé de vapeur qui est en contact avec la surface libre des liquides.

Lorsqu'une solution de continuité est produite, elle nécessite un certain temps pour disparaître, ce que l'on juge à l'impossibilité de faire surnager des gouttes, si l'on ne met pas un intervalle de une à deux minutes entre chaque expérience. On conçoit, d'ailleurs, que la réparation se fait d'autant plus promptement que le liquide qui forme la capsule est plus volatil. L'uniformité de la couche de vapeur peut être altérée, par des particules solides flottantes dans l'air ambiant et qui se déposent sur le bain, ou par des corpuscules en suspension dans la masse liquide que les courants intérieurs amènent parfois jusqu'à l'extrême surface. Il est donc important d'opérer avec des liquides parfaitement limpides, et de les soustraire à la poussière.

Afin de mettre davantage en évidence l'influence de la couche

de vapeur adhérente à la surface des liquides, j'ai fait fait l'expérience suivante : deux tubes semblables de verre, *A* et *B* (fig. 7), contenant chacun de l'éther sulfurique, sont chauffés au bain-marie à la température de 34° centigrades environ. Dans le tube *A*, et sur la surface du liquide, j'établis une petite capsule d'argent très mince, ayant la même courbure que le ménisque du liquide dans les tubes. La petite capsule est retenue par un crochet sur le bord du tube, ce qui la maintient à une hauteur fixe, mais en contact avec le liquide. Cette disposition prise, j'attends quelques minutes afin de laisser les espaces se saturer de vapeur, puis je dépose doucement une goutte d'éther sur la capsule métallique, qui est toujours instantanément mouillée, tandis qu'une goutte identique projetée sur la surface liquide du tube *B*, y reste flottante fort longtemps. C'est donc bien une couche de vapeur adhérente à la surface de l'éther, et qui n'existe pas à la surface de la capsule métallique, qui modifie le rapport des cohésions des liquides en regard et détermine leur séparation. Cette manière de voir, qu'on peut très bien généraliser, explique des faits en faveur desquels on ne saurait invoquer, ni une force répulsive, ni la tension des vapeurs, vu les basses températures auxquelles ces faits se produisent.

Grossissement des gouttes. — En général, on voit les gouttes flottantes éprouver une diminution de volume, quoique, pour quelques liquides, il soit difficile de reconnaître si cette diminution a réellement lieu; mais en cherchant à varier ce genre d'expériences, j'ai trouvé que les gouttes de certains liquides augmentaient de volume dans de fortes proportions pendant toute la durée de l'expérience. Voici dans quelles circonstances :

Lorsque dans un des tubes de l'appareil représenté fig. 7, et contenant de l'éther sulfurique ordinaire porté à la température de 34°, on laisse tomber une goutte d'acide acétique cristallisable, cette goutte reste flottante à la surface de l'éther; mais loin de diminuer de volume, elle grossit, au contraire, rapidement, de façon à acquérir, le plus souvent, un volume six fois plus grand que son volume primitif. Cette expérience et les sui-

vantes réussissent d'autant mieux que la température du bain est plus uniforme, ce qu'on obtient facilement en plaçant, suivant les circonstances, la faible flamme d'une veilleuse à des distances variables du bain-marie.

En opérant avec d'autres acides, l'acide azotique et l'acide sulfurique monohydraté sont les seuls avec lesquels j'aie obtenu le grossissement des gouttes, et c'est l'acide azotique qui, jusqu'à présent, m'a semblé manifester le phénomène au plus haut degré.

Les gouttes acides étaient projetées sur l'éther à l'aide d'une pipette effilée, et leur diamètre moyen était de $2^{mm},11$, ainsi qu'il résulte de mesures micrométriques. Ayant déterminé le volume primitif de ces gouttes, et lorsqu'elles avaient atteint leur maximum de grosseur, j'ai trouvé que le rapport du volume primitif au volume final était en moyenne :

De 1 à 3 pour l'acide sulfurique monohydraté ;
1 à 5 pour l'acide acétique cristallisable ;
1 à 12 pour l'acide azotique.

Si l'on intervertit l'ordre des liquides, c'est-à-dire si l'on projette successivement sur les acides précités, chauffés à 40° environ, une goutte d'éther sulfurique, cette goutte roule vivement à la surface des acides, diminue rapidement de volume et s'évanouit.

Pendant leur grossissement, les gouttes se déplacent continuellement, et il se produit parfois une rotation très régulière. J'ai cru remarquer que les déplacements ont lieu tant que le grossissement s'effectue, et qu'ils cessent en même temps que lui ; on est averti que le maximum de grosseur est atteint lorsque les gouttes sont immobiles ; et si la température est bien constante, il n'est pas rare de voir des gouttes d'acide acétique flotter pendant 20 à 25 minutes.

Quand les gouttes sont immobiles, on observe des anneaux colorés à leur partie supérieure sur toute la surface d'un segment sphérique dont la hauteur m'a semblé être le tiers du diamètre des gouttes. Ces couleurs sont très vives et parfaitement visibles

à l'œil nu, surtout quand on opère avec l'acide azotique. Elles se manifestent également quand on opère avec des liquides de même nature, et n'apparaissent, en général, que dans les instants qui précèdent l'évanouissement des gouttes.

Je ne suis pas encore fixé sur la cause qui produit le grossissement des gouttes acides; mais c'est un fait très-curieux qu'un transport de matière aussi considérable puisse s'effectuer dans un temps si court, à travers un intervalle qu'on peut regarder comme très-petit. C'est une preuve bien convaincante de la persistance de la couche de vapeur adhérente à la surface des liquides.

Pour compléter cette étude, il me reste à indiquer l'influence du non contact sur la température et la vaporisation de l'eau déposée sur les surfaces chaudes.

TROISIÈME PARTIE.

TEMPÉRATURE DE L'EAU QUI NE MOUILLE PAS LES SURFACES CHAUDES SUR LESQUELLES ELLE REPOSE.

Un fait qui a frappé tous les observateurs qui se sont occupés de ce genre de phénomènes, c'est que les liquides semblent ne pas pouvoir bouillir lorsqu'ils reposent sur les surfaces très chaudes. La température est, en général, peu différente de celle de l'ébullition de ces liquides; et, suivant M. Boutigny, cette température serait constante pour l'eau, et de 96°,5, quelle que soit la température de la surface.

Cependant M. Person (1) dit avoir obtenu l'ébullition de l'eau dans de petits creusets sur la lampe à alcool, et dans de grands creusets à la forge; mais l'ébullition qu'on obtient ainsi est différente de l'ébullition ordinaire, par l'aspect du liquide, et par le temps de la vaporisation qui n'est pas le même. D'après le même physicien, la température du liquide dépendrait de celle de la surface, car un petit morceau d'alliage, fusible à 95°, plongé dans l'eau sous forme globulaire, fond ou ne fond pas suivant qu'on chauffe plus ou moins la surface. Avec de très petits thermomètres, M. Person a trouvé, 84° pour la limite inférieure, et plus de 100 degrés pour la limite supérieure. L'eau acquiert la température de 100 degrés lorsque la température d'une capsule est de 360 degrés environ, et que celle-ci est presque entièrement couverte d'eau.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome XV, page 494.

La plupart des savants qui ont déterminé la température des liquides reposant sur les surfaces chaudes, ne sont pas d'accord sur ce point; c'est ainsi, que MM. Laurent, Legrand, Kramer, Belli, Peltier, Baudrimont, etc...., ont indiqué des chiffres très différents de ceux fixés par M. Boutigny.

Tout récemment, M. de Luca (1), en déposant de l'iodure d'amidon bleu dans une capsule chauffée, a vu cet iodure rester bleu jusqu'à la fin de l'expérience. Comme l'iodure d'amidon se décolore complétement à 80°, et que la décoloration commence même à 50°, il en conclut, que non-seulement la température du composé n'atteint pas 80°, mais qu'elle pourrait même être au-dessous de 50°.

A cet argument, M. Boutigny répond (2), qu'on ne saurait rien conclure de la décoloration de l'iodure d'amidon qui semble dépendre de la quantité d'iode, puisque de l'iodure d'amidon contenant $\frac{1}{200}$ d'iode, peut être porté jusqu'à l'ébullition sans se décolorer. Il persiste dans le chiffre de 96°,5 qui aurait été récemment confirmé par M. Sudre.

En se servant du thermomètre à calories imaginé par MM. Favre et Silbermann, M. Sudre aurait constaté qu'un gramme d'eau abandonne toujours dans ces circonstances 97,4 calories; d'où il tire la conclusion, que si les expériences de M. de Luca sont fondées, il faudrait admettre que l'eau, sous forme globulaire, possède une chaleur spécifique deux fois plus élevée que celle qu'on lui connaît dans les conditions ordinaires (3).

Les citations précédentes montrent qu'il règne encore une grande incertitude sur la température que peuvent atteindre les liquides déposés sur les surfaces chaudes, ou du moins, qu'en indiquant cette température on n'a pas assez spécifié les diverses conditions dans lesquelles ces liquides étaient placés; ces conditions étant de plusieurs sortes, il importe de les énumérer.

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome LI, page 141.
(2) *Id.*, tome LII, page 91.
(3) *Id.*, tome LI, page 1092.

Lorsqu'un liquide volatil est déposé dans un vase ou sur une surface assez chaude, il prend une forme arrondie bien connue, et on sait, d'après les expériences de M. Buff (page 12), qu'il y a une séparation complète ou incomplète suivant la quantité du liquide. Si cette quantité est telle qu'il n'y ait aucun contact avec la surface chaude dont le degré de chaleur est supposé uniforme, le liquide ne tarde pas à acquérir une température qui résulte de l'équilibre qui s'établit entre la quantité de chaleur emportée par la vapeur qui se forme et la chaleur reçue de la part de la surface chaude sous-jacente : or, quelle que soit la température de cette dernière, elle ne peut, par voie de rayonnement, communiquer au liquide autant de chaleur que celui-ci pourrait en recevoir par conductibilité dans le cas du contact; en d'autres termes, il semble que dans ces circonstances la température du liquide ne puisse jamais atteindre celle de son point d'ébullition ordinaire. Cela aurait lieu, en effet, s'il n'y avait pas une cause qui exerce une influence très manifeste sur la température d'ébullition; cette cause est la forme globulaire du liquide. On verra, par la suite, que l'influence de la forme globulaire, dans ces circonstances, n'est pas d'un ordre de grandeur plus élevé que l'influence des vases, c'est-à-dire qu'elle ne saurait retarder le point d'ébullition que de 1 degré, environ. On entrevoit alors comment un liquide peut atteindre et même dépasser la température de son point d'ébullition dans les vases métalliques sans offrir les caractères de l'ébullition ordinaire.

En tout cas, si à la limite de température du liquide on admet que celui-ci entre en ébullition, ce phénomène ne saurait avoir une bien grande intensité, car il demande une quantité de chaleur que le seul rayonnement des surfaces ne pourrait communiquer; mais il y a la vapeur qui, à une température relativement peu élevée, donne déjà 80 fois plus de chaleur que le rayonnement, et qui pourrait expliquer, à la rigueur, la production de ce phénomène. Toutefois dans les conditions où on admet que l'ébullition a lieu, la quantité de vapeur formée diffère notablement de celle produite dans l'ébullition ordinaire. Suivant M. Person, elle est 5 fois moindre dans le

premier cas que dans le second, pour une certaine température (1). Mais peut-on réellement considérer comme une ébullition, l'agitation tumultueuse qu'on observe quand une certaine masse d'eau est versée dans un creuset porté à une température élevée?

Lorsqu'une quantité d'eau un peu notable repose sur une surface chaude, il se produit une évaporation sur toute la surface de la masse liquide, et chacun admettra que c'est du côté de la paroi échauffée que la production de la vapeur est la plus abondante; or, la quantité de vapeur produite en cet endroit ne peut pas toujours s'écouler, au fur et à mesure de sa formation, par l'intervalle qui existe entre le liquide et la paroi échauffée. C'est ce qui arrive quand on opère dans des capsules très plates; on voit que la vapeur soulève le liquide en certains endroits, et vient percer à la surface supérieure sous forme de bulles. L'issue offerte à la vapeur n'étant pas suffisante, celle-ci se trouve nécessairement un peu comprimée, et pour s'échapper elle soulève le liquide sous forme de bulles dans des cas, ou le chasse de côté, dans d'autres cas; en un mot, elle détermine les oscillations brusques, ou les vibrations régulières que le liquide offre très souvent. C'est à cette circonstance qu'il faut attribuer la dépression manométrique observée dans les expériences de M. Person, citées page 23; mais j'ai déjà fait remarquer que la tension de la vapeur, dans ce cas, est moins la cause du non contact, qu'une circonstance tendant à agrandir l'intervalle qui existe préalablement entre les deux corps.

D'un autre côté, il est rationnel d'admettre que la quantité de vapeur qui se forme du côté de la paroi échauffée augmente avec la température de cette dernière, et qu'il est peu probable que l'intervalle croisse proportionnellement avec cette température; dès lors, le phénomène dont il vient d'être question doit se manifester avec d'autant plus d'énergie que la température est plus élevée. La vapeur qui s'échappe à travers le liquide est fortement surchauffée, et il n'est pas supposable qu'elle puisse

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* tome XV, page 494.

ainsi s'écouler sans changer la température de la couche liquide. Le raisonnement indique qu'il doit y avoir augmentation de chaleur, à moins que la quantité de calorique introduite ne soit compensée par une évaporation plus rapide à la surface supérieure du liquide.

Dans le but de vérifier l'influence des jets de vapeur, et de la forme globulaire, j'ai déterminé la température de l'eau, dans diverses conditions, en employant la méthode des mélanges, procédé déjà adopté par M. Baudrimont pour des recherches analogues; seulement ce physicien a opéré sur des quantités de liquide tellement minimes, qu'il est permis d'élever quelques doutes sur les résultats ainsi obtenus : aussi les températures trouvées par M. Baudrimont sont elles regardées comme beaucoup trop faibles. Afin d'éviter des inconvénients du même genre, j'ai opéré sur des masses d'eau relativement considérables; ces quantités ont, en effet, varié de 50 à 170 grammes.

Le calorimètre dont j'ai fait usage est celui qui fait partie de l'appareil imaginé par M. Regnault pour déterminer la chaleur spécifique des solides et des liquides entre 0 et 100 degrés, par la méthode des mélanges, appareil qui appartient à la Faculté des sciences de Besançon. Ce calorimètre est en laiton, et à double enveloppe pour amoindrir et rendre plus uniformes les causes de refroidissement et de réchauffement pendant les expériences.

Le vase intérieur est cylindrique; il a $0^{m},13$ de diamètre, et autant de hauteur. Il pése, avec son agitateur également en laiton, 143 grammes. En adoptant 0,094, pour la chaleur spécifique du laiton, l'équivalent en eau de ce calorimètre est, $143 \times 0,094 = 13^{gr},44$.

Le thermomètre qui sert à mesurer la température du calorimètre est divisé en cinquièmes de degré, et chacune des divisions est encore assez grande pour être facilement subdivisée, par la pensée, en 5 parties; ce thermomètre permet donc de déterminer la température à $\frac{1}{25}$ de degré près. L'équivalent en eau, du mercure et de la partie de la tige du thermomètre qui plongeaient dans le mélange, était sensiblement de $1^{gr},6$; ce qui donne

15 grammes pour l'équivalent en eau du calorimètre complet ; en versant dans ce vase 1185 grammes d'eau réelle, on avait une masse équivalant à 1200 grammes d'eau.

Cette quantité a été rendue constante dans toutes les expériences qui suivent.

La capsule dont je me suis servi est en bronze, à fond presque plan, de 0^{m}, 15 de diamètre et de 0^{m}, 06 de hauteur. Elle était chauffée sur un bon feu de charbon de bois, et lorsqu'elle avait atteint une température convenable, on y versait une quantité d'eau distillée préalablement portée à 90° environ. On laissait s'écouler quelques instants pour permettre à la température de devenir uniforme dans toute la masse liquide, puis l'eau était lestement versée dans le calorimètre dont la température était mesurée quelques secondes avant.

L'uniformité de température de l'eau dans la capsule était rapidement atteinte, ce que j'ai constaté, en versant l'eau chaude dans le calorimètre immédiatement après son introduction dans la capsule, ou en laissant s'écouler au moins une minute ; la température de l'eau a été trouvée sensiblement la même, ce qu'il faut attribuer à l'agitation tumultueuse causée par une foule de bulles de vapeur qui partent du fond de la capsule et qui viennent crever avec force à la partie supérieure du liquide. Le mélange atteignait sa température maximum 20 secondes environ après l'introduction de l'eau chaude ; le mélange était constamment agité à partir de cette introduction.

Pour éviter la perte ou le gain de chaleur pendant les expériences, j'ai employé la méthode de compensation de Rumfort, c'est-à-dire que la température ambiante, rendue aussi uniforme que possible, a toujours été prise pour la moyenne des températures initiale et finale du calorimètre. Tant que cette condition est remplie, on peut admettre qu'il y a une compensation assez rigoureuse, à cause de la courte durée de chaque expérience ; seulement comme il est admis, en général, que la première moitié de la variation de température est plus rapidement franchie que la seconde moitié, une expérience préalable m'a démontré que la perte de chaleur qui pouvait se faire pendant cette seconde

moitié, était largement compensée par la chaleur rayonnée par la capsule, pendant les 2 à 3 secondes de temps que nécessitait l'introduction de l'eau chaude.

La lecture du thermomètre du calorimètre, dont le zéro a été déterminé avec soin, se faisait à l'aide d'une lunette montée sur un petit cathétomètre. La même lunette permettait de lire un autre thermomètre placé dans le voisinage du calorimètre, et destiné à indiquer la température ambiante.

La quantité d'eau chaude introduite était déterminée en pesant le calorimètre avant et après chaque expérience.

Toutes les pesées ont été faites avec d'excellents poids de Fortin; les lectures ont été le plus souvent vérifiées par deux personnes différentes, de sorte qu'aucune précaution n'a été négligée pour obtenir les valeurs numériques avec la plus grande exactitude.

Ceci posé, soient :

M la masse d'eau totale du calorimètre;
t sa température initiale;
t' la température finale du mélange;
m le poids de l'eau chaude introduite;
T la température de cette eau.

En supposant uniforme et égale à l'unité la chaleur spécifique de l'eau entre 0 et 100 degrés, on a l'équation

$$M\,(t' - t) = m\,(T - t')\,;$$

d'où

$$T = \frac{M\,(t' - t) + m\,t'}{m}.$$

Quelques expériences, dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous, ont été faites en chauffant la capsule à diverses températures au-dessous du rouge; tandis que pour celles marquées d'un astérisque, la capsule a été portée au rouge sombre avant d'y verser de l'eau. Les valeurs numériques de douze expériences faites dans les conditions qui viennent d'être indiquées, sont les suivantes :

Numéros des expériences.	M	t	t'	m	T
I	1200 gr.	11°,44	18°,74	110 gr.	98°,38
II	id.	10°,20	19°,45	141	98°,17
III	id.	11°,20	14°,88	53	98°,20
IV	id.	9°,56	15°,54	87	98°,02
(*) V	id.	9°,75	20°,57	165,5	99°,02
VI	id.	10°,86	15°,55	68	98°,43
(*) VII	id.	10°,60	20°,08	145,2	98°,42
(*) VIII	id.	9°,60	20°,05	159,2	98°,82
(*) IX	id.	10°,20	20°,08	151	98°,60
(*) X	id.	10°,82	21°,89	172,9	98°,72
(*) XI	id.	10°,57	20°,35	150,2	98°,48
(*) XII	id.	9°,61	17°,55	117	98°,98

Moyenne . . . . . 98°,52.

Pendant la durée des expériences ci-dessus, la température de l'eau bouillante a été plusieurs fois déterminée à l'aide d'un excellent thermomètre hypsométrique de M. Regnault, construit par Bunten. Cette température d'ébullition a varié entre 99°,35, et 99°,05. La même température déduite de la pression atmosphérique, n'a différé que de quelques centièmes avec les chiffres précédents.

L'inspection des nombres du tableau ci-dessus montre que la température de l'eau à l'état globulaire, dans les conditions précédemment indiquées, est très voisine de celle du point d'ébullition, indépendante de la quantité de cette eau et de la température de la capsule.

En effet, la moyenne de douze expériences est de 98°,52, c'est-à-dire 0,9 de degré au-dessous de la température d'ébullition de l'eau dans un vase métallique ; mais si l'on tient compte de certaines pertes de chaleur, il est permis de penser

que la température de l'eau dans la capsule était plus élevée que ne l'indique l'expérience.

En fait, il est hors de doute qu'une petite quantité d'eau était vaporisée pendant le temps qu'on introduisait l'eau chaude dans le calorimètre, introduction que l'on devait faire avec quelques précautions afin d'éviter les projections ; or, la chaleur absorbée par la vapeur était nécessairement empruntée à l'eau versée sous forme de jet, et au moment où elle ne recevait plus de chaleur de la part de la capsule, ce qui devait faire baisser la température de cette eau avant son arrivée dans le calorimètre.

Admettons que la température du liquide ait été, dans la capsule, égale à celle de l'ébullition ordinaire, et qu'elle ait baissé de 1 degré par la vaporisation produite à la surface de 140 grammes d'eau versée. Cet abaissement correspondrait à

$$\frac{140}{537} = 0^{gr},261 \text{ d'eau vaporisée ;}$$

537 étant la chaleur latente de la vapeur d'eau vers 100°.

Assurément, dans de telles circonstances, la vaporisation de 1/4 de gramme d'eau n'offre rien d'exagéré, et elle suffirait, comme on le voit, à faire baisser de 1°, la température initiale de 140 grammes d'eau. Supposons, si l'on veut, que l'évaporation est moitié moindre ; elle occasionnerait alors un abaissement de 1/2 degré dans la température de l'eau, celle-ci serait, par ce fait, de 1/2 degré seulement au-dessous de la température de l'ébullition ordinaire.

Ce résultat est parfaitement admissible si l'on met en ligne de compte le non contact du liquide et de la capsule, et les bulles de vapeur qui tendent à élever la température de l'eau au point d'ébullition, d'une part, mais qui peuvent très-bien ne pas l'y maintenir d'une manière constante parce qu'elles produisent, d'autre part, une évaporation plus abondante qui tend à faire baisser la température. La production des bulles de vapeur et la vaporisation n'offrant rien de constant, les résultats fournis par l'expérience ne peuvent présenter rien d'uniforme.

L'influence des bulles de vapeur étant manifeste, il était permis

de supposer qu'en les supprimant, c'est-à-dire en empêchant ces bulles de traverser la couche d'eau, celle-ci atteindrait une température moins élevée. C'est ce que j'ai vérifié, en perçant le fond de la capsule de bronze d'un grand nombre de trous de 1/2 millimètre de diamètre, en premier lieu, et de un millimètre, ensuite. Exactement comme dans les expériences avec la capsule pleine, l'eau a été préalablement chauffée, et n'a été versée dans la capsule, que quand celle-ci avait atteint une température suffisante.

Les résultats obtenus à l'aide de la capsule ainsi percée sont consignés dans le tableau suivant, où les notations ont la même signification que dans le tableau de la page 43.

Numéros des expériences.	M	t	t'	m	T	Différences de T à la température d'ébullition.
	gr.			gr.		
I	1200	9°,66	15°,75	93	94°,59	— 4°,76
II	id.	10°,15	16°,50	96	95°,87	— 3°,48
III	id.	9°,67	15°,44	88	94°,12	— 5°,23
IV	id.	10°,70	16°,83	97	92°,66	— 6°,69
V	id.	10°,38	18°,18	120	96°,18	— 3°,17
VI	id.	11°,35	19°,26	126	94°,59	— 4°,76

Pendant ces expériences la température d'ébullition de l'eau a été de 99°,35.

Les chiffres de ce dernier tableau, comparés à ceux du tableau de la page 43, mettent bien en évidence l'influence des bulles de vapeur, c'est-à-dire que celles-ci étant en partie supprimées, la température de l'eau est notablement plus basse que précédemment. Je dis que les bulles de vapeur n'ont été qu'en partie supprimées, cela est vrai, car je n'ai pu arriver à la suppression complète, en opérant sur une centaine de grammes d'eau comme je l'ai fait. Lorsque le fond de la capsule a été perforé d'un grand nombre de trous de 1/2 millimètre de diamètre, les

bulles de vapeur, quoique beaucoup plus rares, avaient néanmoins une très grande influence, et c'est dans le but de réduire encore cette dernière que la moitié des trous ont été portés à un millimètre de diamètre. Les bulles de vapeur, bien que considérablement réduites, n'ont cependant pas été annulées tout à fait. Il aurait fallu, pour cela, agrandir le reste des trous; mais alors on serait tombé dans un grand inconvénient, parce que sous la charge et les agitations du liquide, une multitude de gouttelettes d'eau passaient en dessous de la capsule sous la forme d'une pluie très fine; la quantité d'eau, déjà très notable, qui s'échappait ainsi aurait, sans nul doute, été augmentée, et les expériences seraient devenues impraticables.

Les résultats obtenus avec la capsule percée montrent ce que je voulais prouver, à savoir, que l'eau peut prendre la forme globulaire sur des surfaces plus ou moins chaudes, et acquérir des températures très diverses. Seulement, quand on opère avec une capsule percée, on est forcément obligé d'avoir une température élevée, afin d'obtenir une forme globulaire du liquide sans contact avec la surface échauffée. Pour cette raison, la capsule trouée a toujours été portée préalablement au rouge sombre, ce qui fait que les valeurs de *T*, du dernier tableau, ne diffèrent pas autant qu'elles le devraient de celles du tableau précédent, si, avec une aussi grande quantité d'eau on pouvait chauffer moins la capsule, et surtout, si l'on pouvait empêcher complétement les bulles de vapeur de traverser le liquide.

J'ai tenu à opérer avec des masses d'eau un peu grandes, car c'est avec elles que les effets sont les plus marqués, que les diverses influences sont les plus faciles à apprécier (1). Il en est tout autrement quand on emploie de petites quantités de ce

---

(1) Je prépare depuis quelque temps des appareils pour opérer sur plusieurs litres d'eau à l'état globulaire; mais les lenteurs de semblables expériences me forcent à les ajourner. Ces appareils, et la plupart de ceux qui sont décrits dans ce travail, je les dois au concours bienveillant et généreux de M. Minary, Ingénieur des Forges de Franche-Comté, à qui je suis heureux de donner ici un témoignage de ma vive reconnaissance.

liquide; ce dernier reste la plupart du temps immobile, ou ne présente, suivant la forme des vases, que des mouvements vibratoires peu intenses; alors les causes qui peuvent faire varier la température ne sont pas aussi faciles à discerner.

Ainsi, il m'est souvent arrivé de déposer une faible quantité d'eau distillée dans une capsule de bronze bien poli, chauffée à 3 ou 400 degrés, et de voir cette eau ainsi que la capsule perdre lentement leur chaleur, et les températures de ces deux corps devenir assez basses pour qu'au moment du contact il n'y ait aucun crépitement, aucun indice d'ébullition. Assurément, dans ces circonstances, la température de la capsule descend au-dessous de 100°, et par suite, la température de l'eau doit être relativement beaucoup plus basse. Sans attacher à ce fait particulier (qui se produit cependant assez fréquemment) plus d'importance qu'il n'en comporte, il n'en est pas moins vrai que la cause qui empêche le mouillage du bronze à d'aussi basses températures ne peut être attribuée, ni à une force répulsive, ni à la force élastique de la vapeur.

Je suis donc loin de regarder les résultats obtenus avec la capsule trouée comme une limite inférieure approchée de la température de l'eau sur les surfaces chaudes. On ne peut assigner à cette température aucune limite inférieure fixe, attendu qu'elle dépend, je le répète, de plusieurs causes qui tantôt agissent isolément, tantôt simultanément, si bien que la température est aussi, tantôt plus basse, tantôt plus élevée.

Il me semble également impossible de pouvoir assigner une limite supérieure constante. On se rappelle qu'en opérant avec la capsule non percée, j'ai constaté que la température de l'eau atteignait sensiblement celle de l'ébullition du même liquide dans les vases métalliques; et si cette température a été trouvée un peu plus basse, il en faut rapporter la cause à la grande surface d'évaporation du liquide disposé en nappe mince, et où la forme globulaire n'avait guère d'influence que sur le pourtour.

Ayant donc reconnu que des bulles de vapeur traversant une couche peu épaisse de liquide en élevait la température presqu'à celle de l'ébullition, je n'hésitai pas à admettre que si l'on s'ar-

rangeait pour que ces bulles traversassent une plus grande hauteur d'eau, tout en rendant la surface de vaporisation plus petite, on obtiendrait une élévation de température plus grande encore. La masse liquide étant plus rassemblée, la forme globulaire devrait aussi avoir un effet plus marqué.

J'ai vérifié ces prévisions en opérant dans un creuset de fonte du poids de 2 kilogrammes, ayant 0^m, 125 de hauteur, et 0^m, 08 de largeur; l'épaisseur moyenne des parois étant de 0^m, 012. L'intérieur de ce creuset a été tourné et rodé avec soin, de façon à avoir une surface exempte d'aspérités, et c'est dans cet intérieur qu'on versait de l'eau chaude lorsque le creuset avait atteint une température de 7 à 800 degrés. Comme dans les expériences avec la capsule, on laissait s'écouler un temps assez long pour permettre à la température de l'eau de devenir uniforme; puis, à un moment donné, le creuset était saisi par son milieu à l'aide d'une pince à mâchoires demi-circulaires, et l'on versait son contenu dans le calorimètre.

J'ai, de cette façon, obtenu les résultats suivants :

Numéros des expériences.	M	t	t'	m	T	Excès de T sur la température d'ébullition.
	gr			gr.		
I	1200	9°,25	15°,46	88	100°,14	+ 0°,74
II	id.	9°,40	16°,28	98,6	100°. »	+ 0°,60
III	id.	10°,95	14°,40	48,2	100°,29	+ 0°,89
IV	id.	11°. »	17°,20	89,6	100°,23	+ 0°,83
V	id.	12°,25	17°,84	81,5	100°,15	+ 0°,75

Moyenne . . . . . 100°,16

L'influence des bulles de vapeur et de la forme globulaire est donc bien manifeste, puisque dans les expériences ci-dessus on trouve que la température de l'eau est, en moyenne, 3/4 de degré

plus élevée que celle de l'ébullition ordinaire dans un vase métallique. En effet, la température de l'eau bouillante, déterminée directement pendant ces expériences, a été trouvée de 99°,4.

Lorsque de l'eau est versée dans le creuset précédemment décrit, porté à une température suffisamment élevée, cette eau reste calme pendant quelques instants, mais elle ne tarde pas à être violemment agitée par les bulles de vapeur qui la traversent directement, et surtout par celles qui se fraient un passage contre les parois du creuset. Cette agitation donne lieu à des projections très abondantes quand la quantité d'eau est un peu forte. Ces projections sont, du reste, d'une toute autre nature que celles qui résultent de la plus violente ébullition ordinaire; elles sont presque nulles quand la quantité de liquide est faible; l'influence de la forme globulaire est alors plus évidente.

En effet, la partie inférieure du creuset employé étant sensiblement hémisphérique, si on y verse une petite quantité d'eau, elle prend une forme qui approche beaucoup d'une sphère; et il était à présumer que, dans ce cas, la cohésion du liquide pour lui-même serait plus efficace, et qu'elle opposerait une plus grande résistance à la transformation en vapeur.

C'est dans le but de vérifier cette hypothèse, que j'ai entrepris une série d'expériences avec de petites quantités d'eau versées au fond du creuset, en opérant, d'ailleurs, exactement comme dans les expériences qui précèdent.

Les résultats sont les suivants :

Numéros des expériences	M	t	t'	m	T	Excès de T sur la température d'ébullition
	gr.			gr.		
I	1200	12°,20	14°,42	31	100°,35	+ 1°,25
II	id.	11°,60	14° 74	44	100°,37	+ 1°,27
III	id.	10°,62	12°,23	22	100°,05	+ 0°,95
IV	id.	12°,43	14°,74	32,5	100°. »	+ 0°,90
V	id.	12°,50	15°,12	37	100°,10	+ 1°,00
VI	id.	14°,07	15°,60	21,7	100°,20	+ 1°,10
VII	id.	11°,67	14°,42	38,5	100°,13	+ 1°,03

Pendant cette série d'expériences, la hauteur barométrique, réduite à 0, était de 736 millimètres (1), ce qui donne, d'après les tables de M. Regnault, 99°,1, pour la température d'ébullition de l'eau.

Ainsi, dans les conditions où je me suis placé, la forme globulaire exerce une action bien marquée sur la température de l'eau. Cette action semble être du même ordre de grandeur que celle exercée par les vases de verre sur le point d'ébullition des liquides, puisque dans ces dernières expériences l'eau a atteint 1° de plus que sa température d'ébullition ordinaire.

Je n'ai pas cru devoir opérer sur des masses liquides plus petites, dans la crainte de manquer de précision; mais les résultats précédents permettent de croire que si l'on pouvait se procurer des sphères parfaites et exemptes d'agitations, on obtiendrait probablement des retards plus grands.

On se rapprocherait alors des récentes expériences de M. Dufour (2), dans lesquelles les retards observés, bien que déjà très grands, seraient plus grands encore, si, au lieu de flotter au

(1) Le laboratoire, où ont été faites ces expériences, est situé à 245 mètres environ au-dessus du niveau de la mer.

(2) *Archives des sciences physiques et naturelles de Genève*, nouvelle période, tome douzième, page 210.

milieu d'un liquide suspenseur de même densité qui leur cède sa chaleur par conductibilité, les sphères étaient isolées ou entourées d'une atmosphère de leur propre vapeur, comme cela a lieu pour de petites gouttelettes d'eau sur les surfaces incandescentes, et dans lesquelles on ne remarque des traces d'ébullition qu'aux plus hautes températures, ainsi que l'a constaté M. Person (1).

Je pense que les expériences ci-dessus fournissent des preuves suffisantes qu'il ne saurait exister, pour l'eau, aucune limite supérieure et inférieure fixes, et à plus forte raison de température constante, inférieure de quelques degrés à la température d'ébullition ordinaire, comme quelques physiciens persistent à le croire. La température dépend de la manière dont agissent les deux causes physiques spéciales que j'ai cherché à mettre en évidence, c'est-à-dire les bulles ou jets de vapeur, et la forme globulaire du liquide.

L'action de cette dernière est variable avec la disposition du liquide; elle est d'autant plus prononcée que la masse fluide présente moins de surface. Elle dépend aussi du poli de la paroi chaude, et tend à disparaître à mesure que cette paroi se couvre d'aspérités. L'influence de la forme globulaire est beaucoup moindre, toutes choses égales d'ailleurs, avec une surface oxydée, qu'avec une surface franchement métallique et polie. Les aspérités ont l'inconvénient de favoriser des contacts partiels qui altèrent l'uniformité de la température du liquide.

Je dois dire, avant d'aborder un autre fait physique dépendant du non contact des liquides avec les surfaces sur lesquelles ils sont déposés, qu'en me bornant à spécifier les faits présentés par l'eau distillée, j'ai la conviction que les faits analogues observés avec les autres liquides volatils résultent des mêmes causes.

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome XV.

LENTEUR D'ÉVAPORATION DE L'EAU SUR LES SURFACES QU'ELLE NE MOUILLE PAS.

Klaproth, à la suite d'expériences irrégulières, a annoncé que l'évaporation est d'autant plus rapide que le métal est plus refroidi, ce qui est une erreur, car il est bien constaté aujourd'hui que l'évaporation des liquides, sous forme globulaire, augmente avec la température.

M. Boutigny conclut de ses expériences que l'évaporation de l'eau est 50 fois plus lente que dans l'ébullition ordinaire.

Suivant M. Person (1), la vaporisation ne serait pas aussi lente qu'on le croit généralement; car en entretenant à 1000 degrés les parois d'un creuset, on peut y vaporiser une quantité d'eau double de celle qui se vaporiserait dans un creuset identique, en admettant que la vaporisation s'y fasse comme dans la meilleure chaudière. Evidemment, ce résultat ne peut s'expliquer par la chaleur rayonnante seule, qui restituerait au liquide la chaleur qu'il perd à chaque instant; aussi M. Person fait-il remarquer que les fluides élastiques, vers 200 degrés, donnent déjà 80 fois plus de chaleur que le rayonnement. D'après ce physicien, c'est vers 900 degrés, environ, que l'égalité de vaporisation s'établit. Mais si on étudie la vaporisation de l'eau à des températures beaucoup plus basses, il est notoire qu'elle se fait avec une grande lenteur.

Dans l'étude de cette question, on a jusqu'à présent comparé les temps de vaporisation en entretenant le liquide en ébullition d'un côté, et en plaçant, d'un autre côté, une quantité égale de même liquide sur une surface plus ou moins échauffée, et produisant la vaporisation totale du liquide dans ces deux circonstances. Dans la dernière, la vaporisation comparée à la

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.* tome XV.

première présente une grande durée, et l'on a voulu y voir une propriété particulière résultant d'un nouvel état physique du liquide, tandis que c'est tout simplement une conséquence naturelle du non contact entre le liquide et la surface sous-jacente.

Pour justifier cette assertion, j'ai entrepris quelques expériences qui ont consisté : à déterminer l'évaporation de deux quantités égales d'eau dans deux vases de même forme, mais sans attendre l'évaporation totale du liquide, pour des raisons que j'indiquerai plus loin. Toutes les conditions physiques de l'évaporation ont été rendues identiques à l'égard des deux masses liquides, à la seule différence que l'une de ces masses mouillait le vase qui la contenait, tandis que l'autre masse en était aussi isolée que possible.

Dans deux parallélipipèdes de bronze, de 55 millimètres de côté et de 9 millimètres d'épaisseur, j'ai fait creuser deux cavités égales de 50 millimètres de diamètre, de façon à constituer deux capsules parfaitement semblables. Ces capsules étaient déposées, l'une contre l'autre, sur un socle de fer de $0^m,22$ de longueur, de $0^m,06$ de largeur, et de $0^m,02$ d'épaisseur. La surface supérieure de ce socle a été parfaitement adoucie pour rendre le contact entre celui-ci et les capsules aussi intime que possible, afin d'obtenir une parfaite égalité de température de ces dernières. L'intérieur de l'une d'elles était soigneusement enduit d'une couche de noir de fumée destinée à empêcher le contact et à déterminer une forme globulaire du liquide. Cinq grammes d'eau pure étaient exactement versés dans chaque capsule, dont la cavité est telle, que les surfaces d'évaporation des deux masses d'eau étaient sensiblement égales. Avec cette disposition, j'ai opéré de plusieurs manières.

En premier lieu, j'ai laissé l'évaporation se faire spontanément, en abandonnant le système précédent dans une chambre assez vaste, et où cette évaporation s'est effectuée plus ou moins rapidement, suivant les conditions atmosphériques. Après un temps qui a varié d'une expérience à l'autre, les deux capsules étaient pesées avec soin ; la différence de poids présentée par chacune d'elles représentait l'eau évaporée.

En désignant par C_m, la quantité d'eau évaporée dans la capsule métallique, par C_e, la quantité d'eau évaporée dans la capsule enfumée pendant le même temps, huit expériences m'ont donné les valeurs suivantes :

Numéros des expériences.	Temps de l'évaporation.	Température moyenne.	$\frac{C_m}{C_e}$
	heures.		
I	37	18°	1,3
II	48	17°,2	1,27
III	23	19°	1,37
IV	20	20°	1,41
V	20	19°,4	1,42
VI	18	20°	1,39
VII	24	19°,4	1,31
VIII	15	18°	1,28

Ces expériences montrent que dans le même temps l'évaporation spontanée est toujours plus rapide dans la capsule métallique que dans la capsule enfumée. Elles offrent une irrégularité qu'il faut attribuer aux variations assez grandes qui se sont produites dans les circonstances atmosphériques, à cause de la lenteur de chaque opération, vu que 1 gramme d'eau exigeait de 20 à 30 heures pour s'évaporer. Quand l'évaporation dure aussi longtemps, la différence, bien que très évidente, ne peut être bien grande, attendu que les conditions des deux masses d'eau ne sont pas aussi différentes qu'elles le paraîssent au premier abord.

En effet, l'eau qui a la forme globulaire, ne touchant pour ainsi dire pas à la couche de noir de fumée, ne reçoit pas autant de chaleur de la part de cette dernière que l'autre masse liquide en reçoit par son contact avec le métal de la capsule, ce qui rend l'évaporation plus forte dans ce dernier cas; mais la durée de l'expérience étant longue, les deux masses d'eau reçoivent

de la chaleur qui émane des corps environnants; or, la chaleur reçue par l'eau de la capsule métallique qui a sa surface miroitante est alors moindre que celle absorbée par l'eau de la capsule enfumée, dont la surface se recouvre au bout de quelques heures, quelques précautions que l'on prenne, d'une pellicule presque imperceptible de noir de fumée qui augmente son pouvoir absorbant. Cette circonstance tend donc à rendre la différence d'évaporation moins grande; mais quelle qu'ait été son action dans les expériences ci-dessus, l'influence du non contact n'en ressort pas moins.

En second lieu, j'ai cherché à activer l'évaporation sans élever la température, en plaçant le système des deux capsules sous une cloche de verre renfermant un vase à large ouverture contenant de l'acide sulfurique concentré (fig. 8).

J'ai alors obtenu les valeurs suivantes :

Numéros des expériences.	Température moyenne	$\frac{C_m}{C_e}$
I	19°	2,1
II	19°,3	1,95
III	20°,2	2,3
IV	19°,5	2,2
V	20°,8	2,3
VI	18°,7	2,1
VII	18°,2	2,1

qui semblent établir que la différence d'évaporation croît avec la rapidité de ce phénomène.

Enfin, en dernier lieu, j'ai activé davantage l'évaporation en portant à des températures graduellement croissantes le socle de fer supportant les deux capsules, d'une part, et en faisant le vide dans la cloche, d'autre part. J'ai, de cette façon, évaporé de plus fortes quantités d'eau, en peu de temps, mais en prenant

la précaution de ne jamais faire bouillir le liquide de la capsule métallique afin d'éviter les projections.

Ces expériences ont donné :

Numéros des expériences.	Temps de l'évaporation	C_m	C_e	$\frac{C_m}{C_e}$
	minutes.	gr.	gr.	
I	60	1,8	0,6	3,00
II	30	2,4	0,5	4,80
III	16	4,1	0,7	5,86
IV	10	4,2	0,5	8,40
V	9	4,4	0,42	10,47
VI	6	4,1	0,36	11,39

Elles prouvent qu'en réalité, la différence d'évaporation de l'eau dans les deux capsules augmente avec l'intensité de ce phénomène. Cette différence augmente aussi avec la température, et l'on se rapproche alors beaucoup de ce qui a lieu dans le cas des surfaces fortement chauffées, quand on opère sous la pression atmosphérique. Toutefois, il existe, entre les deux genres d'expériences, des circonstances qui s'opposent à ce qu'il y ait une similitude complète.

En effet, dans la capsule enfumée, le liquide n'est pas aussi bien isolé du métal que si ce dernier était très chaud, puisque l'eau touche le noir de fumée par quelques points ; or, si faible que soit ce contact, il doit favoriser le passage par conductibilité d'une petite quantité de calorique, et, par conséquent, activer l'évaporation. D'un autre côté, il existe, au bout de peu de temps, une inégalité assez sensible dans les surfaces d'évaporation, bien que l'égalité soit à l'origine aussi parfaite que possible ; il arrive un moment où la surface d'évaporation de l'eau sous forme globulaire est la plus grande, puisque la masse liquide dans la capsule enfumée diminue fort peu ; par suite, l'évaporation est plus grande qu'elle ne devrait être dans cette dernière.

Il n'en est pas de même quand on opère avec des capsules fortement chauffées sous la pression atmosphérique. Si, dans ces circonstances, on a observé que la vaporisation de l'eau était 50 fois moindre que dans le cas de l'eau bouillante, c'est qu'on entretenait le liquide en ébullition dans l'une des capsules, tandis que dans l'autre, le liquide restait à une température peut-être plus basse que celle de l'ébullition.

Il n'est pas inutile de remarquer aussi que la vaporisation se faisaitdans des capsules dont les températures étaient très différentes, et surtout si l'on poussait l'expérience jusqu'à la vaporisation totale, les surfaces d'évaporation devaient offrir les plus grandes inégalités; circonstances qui concouraient à augmenter la différence des temps. Mais la part de ces anomalies étant faite, si on reconnaît qu'en opérant ainsi que je l'ai dit plus haut, la différence de l'évaporation est plutôt diminuée, et qu'elle est, au contraire, augmentée quand on opère avec les surfaces très chaudes, il est permis de conclure de l'identité des effets, l'identité de la cause

Dans les expériences d'évaporation dans le vide ci-dessus rapportées, l'influence de la forme globulaire du liquide est aussi très appréciable, en ce sens, que si l'air est assez raréfié dans la cloche pour produire une violente ébullition de l'eau de la capsule métallique, on ne remarque aucun indice de ce phénomène sur le liquide de la capsule enfumée.

En résumé, cette lenteur de l'évaporation n'offre rien de surprenant, et pour l'expliquer, il n'est pas nécessaire d'invoquer des propriétés et des forces nouvelles. C'est une conséquence naturelle de la séparation qui existe entre le liquide et le corps qui le supporte. Que cette séparation soit produite par un corps non mouillable, ou par une atmosphère gazeuse qui change le rapport des cohésions, le résultat est le même, à l'intensité près. Dès l'instant qu'il n'y a pas de contact, le liquide prend la forme globulaire qui résulte de son attraction pour lui-même, et la chaleur qui émane du corps sous-jacent ne lui arrive plus qu'en faible quantité. Une partie de cette chaleur traverse le liquide sans l'échauffer, une autre s'y réfléchit, et enfin une dernière

portion échauffe la surface la plus voisine du corps chaud. On a vu que c'était là que la vaporisation avait le plus d'intensité, c'est là aussi qu'il doit y avoir une absorption de chaleur assez forte pour maintenir le liquide à une température un peu plus faible que celle de son point d'ébullition, tant, bien entendu, que la surface sous-jacente n'est pas très chaude; mais si la température atteint 900 degrés, la chaleur transmise au liquide par la vapeur surchauffée est égale à celle que ce liquide recevrait par conductibilité dans le cas de l'ébullition ordinaire, et c'est alors que l'évaporation peut avoir la même intensité, conformément à l'observation de M. Person.

CONCLUSIONS.

Les recherches que je viens de rapporter me semblent établir les faits suivants :

1° La cohésion dans les corps solides et les corps liquides n'est pas modifiée au même degré par le calorique, c'est-à-dire que le rapport des cohésions est changé lorsqu'on fait éprouver à ces corps la même variation de température.

2° On peut admettre, comme très approximatives, les démonstrations de Clairaut et de Laplace, c'est-à-dire, que si ω représente l'attraction d'un solide sur les molécules d'un liquide dont l'attraction pour lui-même est représentée par ω', le solide est mouillé toutes les fois que ω est plus grand que $\frac{\omega'}{2}$.

3° L'élévation de température modifie le rapport précédent, et tend, de plus en plus, à en annuler les effets ordinaires; c'est ainsi que cesse le mouillage des solides par les liquides, d'où résulte la forme globulaire de ces derniers.

4° Cette forme globulaire ne saurait constituer un quatrième état des corps (l'état sphéroïdal de M. Boutigny), car autrement l'eau et la plupart des dissolutions salines sur le noir de fumée; le mercure sur des surfaces de verre, de fer ou de platine, devraient jouir de propriétés physiques nouvelles que jusqu'ici on n'a pas constatées.

5° On ne peut regarder comme des propriétés nouvelles, la faible température, et la lenteur d'évaporation des liquides sur les surfaces chaudes; attendu que ces faits sont des conséquences naturelles de la manière dont la chaleur se distribue dans le système; par suite, cette température ne saurait être constante, car

Etude sur la forme globulaire des liquides; par M. G. Sire.

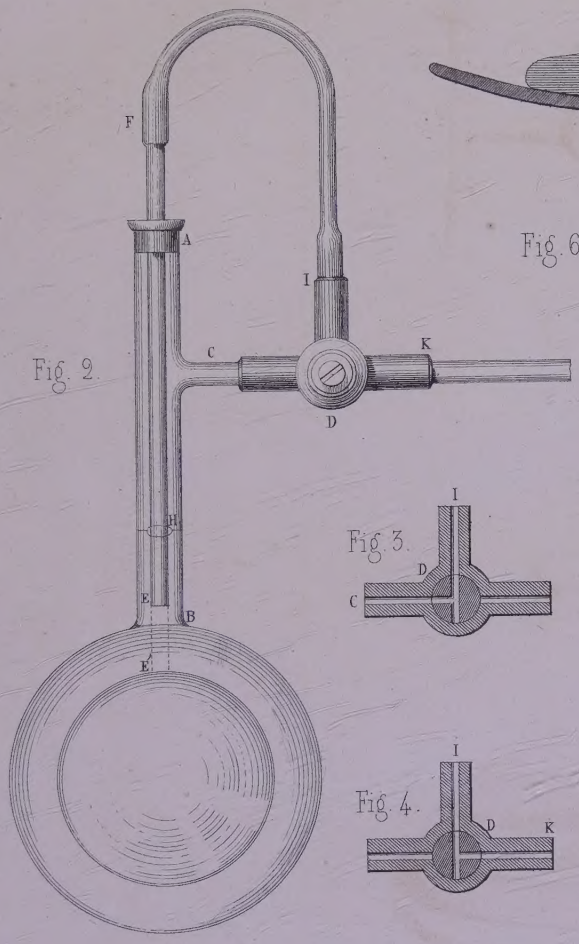

Fig. 2.

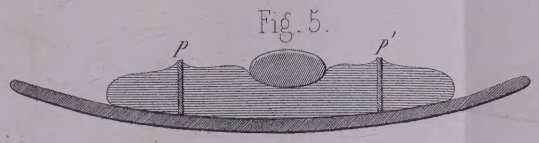

Fig. 5.

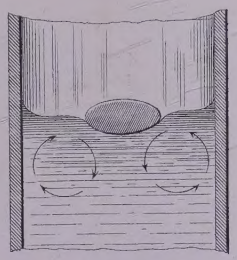

Fig. 6.

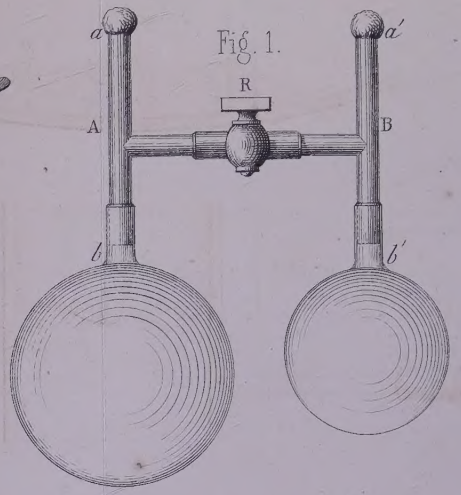

Fig. 1.

Fig. 3.

Fig. 4.

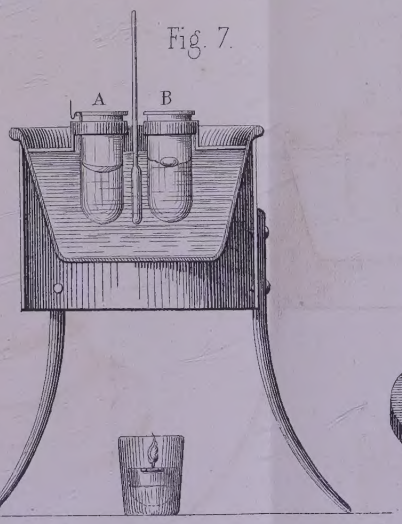

Fig. 7.

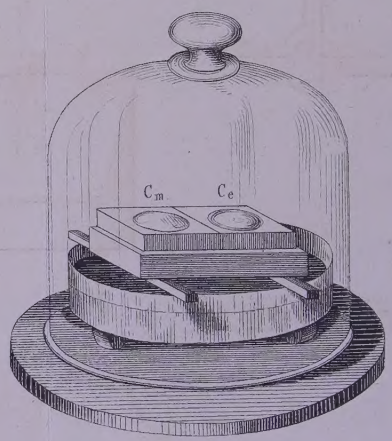

Fig. 8.

G. Sire, del.t

Lith. Dodivers et Cie à Besançon.

T. Marx, sc.

BESANÇON. — IMPRIMERIE DE DODIVERS ET Cie,

GRANDE-RUE, 42.